



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

NÁVRH ŘÍDICÍHO SYSTÉMU
PNEUMATICKÉHO MANIPULÁTORU

DESIGN OF CONTROL SYSTEM OF PNEUMATIC MANIPULATOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Roun

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Vetiška, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Jiří Roun**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jan Vetiška, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh řídicího systému pneumatického manipulátoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Programátorská práce, při které bude realizováno řízení pneumatického manipulátoru na platformě PLC. V průběhu práce na tomto tématu si student má možnost osvojit teoretické a praktické dovednosti při návrhu, zapojení HW řídicího systému a vytvoření plc programu pro daný pneumatický manipulátor.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše dané problematiky.

Návrh zapojení obvodů řídicího systému.

Návrh programu pro řízení pneumatického manipulátoru.

Testování navrženého řídicího systému pneumatického manipulátoru.

Seznam doporučené literatury:

ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace 1: Základní pojmy, úvod do programování. BEN, 2002. ISBN 80-86056-58-9.

MARTINÁSKOVÁ, Marie a Ladislav ŠMEJKAL. Řízení programovatelnými automaty. Vyd. 2. V Praze:

Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-2925-5.

Automatizace a automatizační technika: systémové pojetí automatizace. Brno: Computer Press, 2014.

ISBN 978-802-5136-287.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty.

ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o návrhu řídicího systému pneumatického manipulátoru. Rešeršní část práce popisuje současné možnosti pneumatických prvků pro řízení a polohování pneumatických sestav. Praktická část popisuje zapojení hardwaru s PLC terminály a návrh samotného programu pro ovládání manipulátoru. Závěrem je testování manipulátoru pomocí vytvořeného programu a měřicího softwaru.

ABSTRACT

This bachelor thesis is about the design of the control system for the pneumatic manipulator. Initial research describe the current possibilities of pneumatic products for driving and positioning of pneumatic assemblies. The practical part of this thesis describes the connection of hardware with PLC terminals and the design of software for controlling the manipulator. At the end of the thesis is testing part realized with designed software and measuring software.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pneumatické pohony, pneumatika, řízení, polohování, TwinCAT, PLC, automatizace, manipulátory, roboty

KEYWORDS

Pneumatic drives, pneumatics, control, positioning, TwinCAT, PLC, automation, manipulators, robots

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROUN, J. *Návrh řídicího systému pneumatického manipulátoru*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116777>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Vetiška.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Janu Vetiškovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady během vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat celé rodině za podporu při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Vetišky, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. 05. 2019

.....

Jiří Roun

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	SERVOPOHON.....	17
2.1	Popis zařízení v případě použití elektrického pohonu.....	17
3	POHONY.....	19
3.1	Rozdělení pohonů.....	19
3.2	Elektrické.....	19
3.3	Tekutinové.....	20
4	PNEUMATIKA	21
4.1	Řetězec výroby stlačeného vzduchu.....	21
4.2	Prvky pneumatického obvodu	22
4.2.1	Úprava stlačeného vzduchu.....	23
4.2.2	Proporcionální ventily	23
4.2.3	Lineární pneumatické aktuátory	26
4.2.4	Způsoby odměřování.....	28
5	PRAKTICKÁ ČÁST	29
5.1	Popis manipulátoru.....	29
5.2	Pneumatické schéma manipulátoru	30
5.3	Návrh zapojení pneumatického manipulátoru.....	31
5.4	Návrh programu pneumatického manipulátoru.....	33
5.5	Vývojový diagram řídicího programu	36
5.6	Vizualizace SW prostředí	39
5.7	Testování pneumatického manipulátoru.....	39
6	ZÁVĚR	41
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	43
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	47
8.1	Seznam zkratek.....	47
8.2	Seznam obrázků	47
8.3	Seznam tabulek.....	48
9	SEZNAM PŘÍLOH	49
	PŘÍLOHY	50

1 ÚVOD

Průmyslová automatizace je v dnešní době obor, který není nový, ale neustále se rozvíjí a proniká do více oblastí průmyslu. Pneumatické pohony jsou vedle elektrických nejčastěji používanými. Jsou vhodné pro použití v citlivých prostředích, jako např. potravinářský, farmaceutický, i v prostředí, které může být výbušné.

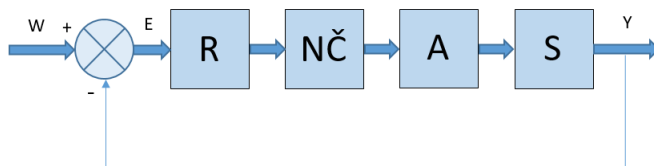
Cílem této práce je provedení rešerše dané problematiky, kde bude popsán princip a použití jednotlivých pneumatických prvků. V rámci praktické části je provedení návrhu zapojení obvodů řídicího systému. Dalším cílem bude navržení programu pro řízení pneumatického manipulátoru s uživatelským rozhraním pro ovládání v různých režimech. Navržený systém bude poté podroben testování v různých testovacích sekvencích.

Pevně věřím tomu, že tato práce poslouží novým studentům, kteří se setkají s pneumatickým manipulátorem stejné nebo obdobné konstrukce, jako návod pro zprovoznění základních funkcí a budou se moci věnovat zlepšování kvality a přesnosti jednotlivých parametrů.

2 SERVOPOHON

Práce pojednává o pneumatickém servopohonu. Servomechanismus pracuje na principu snímání chyby, která je využita k úpravě hodnoty vstupující zpětnou vazbou opět do regulační smyčky.

Servopohon je regulovaná zpětnovazební smyčka sloužící pro dosažení požadované hodnoty polohy. Servopohony mohou být rozděleny dle silového média. V případě použití elektrického pohonu, např. synchronního motoru, je možné tento motor řídit a regulovat ve vysoké přesnosti s dobrou opakovatelností. V případě použití tekutinových pohonů je nutné vzít v potaz vysokou stlačitelnost u pneumatických pohonů, která způsobuje komplikace při přesném polohování. V případě hydraulického pohonu je polohování jednodušší díky nestlačitelnosti použité kapaliny. [4]



Obr. 1) Blokové schéma servopohonu

Regulační obvod realizovaný pomocí blokového schématu (Obr. 1) znázorňuje jednotlivé části obvodu. Vstupem do obvodu je veličina W – požadovaná řídicí veličina. Tato veličina může být např. poloha pístu pneumatického válce. Veličina Y – regulovaná veličina je výsledná pozice. Regulovaná veličina Y se vrací na začátek regulačního obvodu v podobě zpětné vazby přes součtový člen, kde je porovnána s požadovanou veličinou W . Výsledkem tohoto porovnání je regulační odchylka E , která je výsledkem $E=W-Y$. Jednotlivé bloky blokového schématu regulačního obvodu fyzicky představují různé prvky. [1]

2.1 Popis zařízení v případě použití elektrického pohonu

Z PLC řídicího systému je vyslána požadovaná řídicí veličina, která je pomocí prvku R – regulátoru upravena na požadovanou hodnotu. V bloku $NČ$ – nastavovací člen (v případě elektrického pohonu se jedná o výkonový zesilovač) je hodnota z regulátoru zesílena. Zesílená hodnota poté působí na A – aktuátor (v případě elektrického pohonu jde např. o synchronní motor). Pohyb aktuátoru ovlivní výsledný pohyb sestavy – S . Pohyb sestavy je snímán pomocí vhodného snímače. Může být použit snímač pro rotační pohyb nebo lineární pohyb. Výsledek o aktuální poloze je pomocí zpětné vazby přiveden zpět na součtový člen, kde je porovnán s požadovanou hodnotou a nová hodnota opět vstupuje do regulační smyčky.

Práce se podrobněji zabývá tekutinovými pohony, blíže potom pneumatickými. Jednotlivé možnosti budou popsány níže.

3 POHONY

Výběr správného typu pohonu závisí na několika aspektech. Při výběru je důležité zvážit oblast použití, rychlost, počet otáček, přesnost, nosnost efektoru, apod. Každý typ pohonu má výhody a nevýhody v určitých oblastech.

3.1 Rozdělení pohonů

Tabulka (Tab. 1) porovnává typy pohonů. Jednotlivé pohony mají svoje přednosti a zápory. Při výběru pohonu pro zařízení je nutné zvážit všechny jeho aspekty.

Tab. 1) Porovnání typů pohonů [2]

Popis Pohon	Výhody	Nevýhody	Použití
Elektrický	Velký rozsah otáček Nízké emise hluku	Poměr mezi výkonem a hmotností	Transportní vozidla, dopravníky, stroje a zařízení
Hydraulický	Velké přenášené síly	Hluk při provozu Nebezpečí při úniku kapaliny	Hydraulické lis
Pneumatický	Poměr mezi výkonem a hmotností Čistota vzduchu vypouštěného do okolí	Hluk při vypouštění vzduchu do okolí	Potravinářský a farmaceutický průmysl

3.2 Elektrické

Jedním z nejrozšířenějších typů aktuátorů pro servopohon je elektrický motor. Elektrické pohony se používají pro svoji dobrou říditelnost, nízkou hlučnost, dobrou účinnost a velkou škálu výkonů. Implementace elektrického pohonu není obtížná z důvodu velkého rozšíření elektrické sítě. Elektrické pohony pohánějí malá zařízení, jako například zaostřovací mechanismus ve fotoaparátu, přes obráběcí centra až po transportní zařízení, např. trolejbus nebo elektrická lokomotiva. Každé zařízení je osazeno jiným typem elektromotoru z důvodu jeho vlastností. Příklad synchronního motoru je na obrázku (Obr. 2). [2]



Obr. 2) Synchronní servomotor [3]

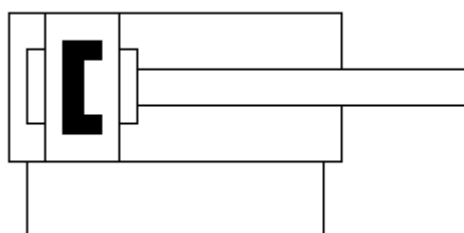
3.3 Tekutinové

Typy tekutinových pohonů rozlišujeme podle použitého média. Při použití stlačeného vzduchu se jedná o pohon pneumatický. V případě použití stlačené kapaliny (nejčastěji hydraulický olej) se jedná o pohon hydraulický. Tekutinové mechanismy se používají jak pro lineární pohyb pomocí tekutinových válců, tak i pro realizaci pohybu rotačního, popřípadě pohybu kyvného. Dvojčinný pneumatický válec je vyobrazen na (Obr. 3 – vlevo) a dvojčinný hydraulický válec na (Obr. 3 – vpravo). [4]



Obr. 3) Pneumatický válec (vlevo) [5] a hydraulický válec (vpravo) [6]

Schematická značka na obrázku (Obr. 4) je shodná pro oba typy tekutinových pohonů. Jedná se o lineární aktuátor s tlumením v koncových polohách a magnetickým členem pro aktivaci senzorů polohy. V případě použití dvojčinného válce je nutné přivádět provozní tekutinu na přední i zadní port válce. Dále jsou v nabídce výrobců verze tekutinových válců s vratnými pružinami. V tomto případě je přivedení provozní tekutiny nutné pouze na jeden port v závislosti na poloze vratné pružiny.



Obr. 4) Schématická značka lineárního aktuátoru [5]

Hydraulické pohony jsou vhodné pro aplikace, kde je vyžadována velká síla mechanismu. Řádově je hydraulický mechanismus schopen přenášet tlaky až do 50Mpa. Hydraulické pohony se dají dobře regulovat i při malých rychlostech. Další z jejich předností je vysoká účinnost a přesnost. Nejčastěji se používají v mobilní technice a těžké mechanizaci.

4 PNEUMATIKA

Pneumatické pohony využívají ke své funkci stlačeného vzduchu. Pneumatika je oblastí průmyslových pohonů, která se neustále vyvíjí. V dnešní době je velká pozornost kladena na snižování pořizovacích a provozních nákladů pneumatických systémů. Neustálý vývoj elektroniky a řídicích systémů dovozuje také zmenšování jednotlivých pneumatických prvků, např. proporčních ventilů.

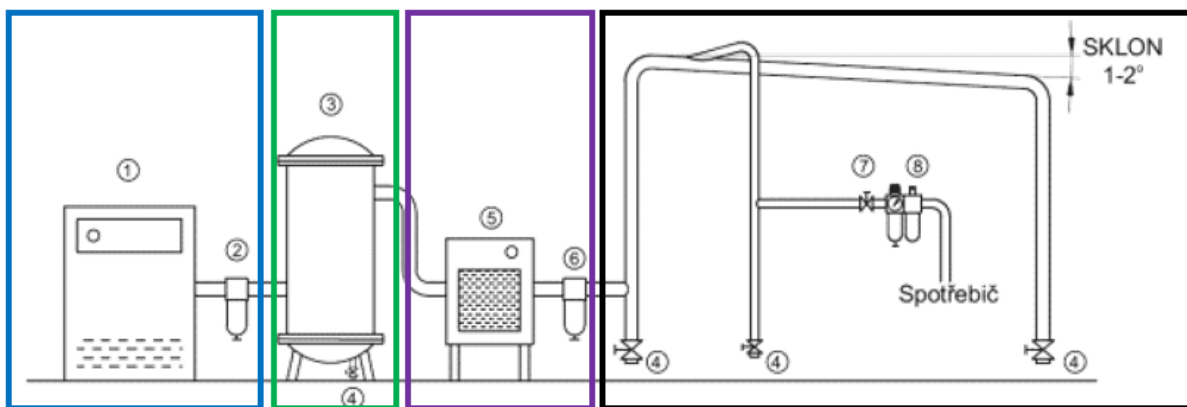
Pohon pomocí tlakového vzduchu se používá jednak v oblastech, kde je nutné zajistit čistotu okolního prostředí. Může se jednat o farmaceutický průmysl, potravinářský průmysl, tiskařský průmysl. Vzhledem k tomu, že stlačený vzduch (bez oleje) při úniku okolí nijak nekontaminuje, je pro tuto část průmyslu vhodný. Další využití nalezne stlačený vzduch například v dopravních vozidlech. Ať už se jedná o vzduchový měch, který slouží k vyrovnávání výšky vozidel, nebo o pneumatický válec, který pohybuje dveřním systémem kolejových vozidel.

4.1 Řetězec výroby stlačeného vzduchu

V následujících odstavcích bude popsán řetězec výroby, úpravy a rozvodu stlačeného vzduchu.

- **Výroba stlačeného vzduchu**

Výroba stlačeného vzduchu probíhá za využití kompresoru, kdy je nasáván vzduch z okolní atmosféry a je za přetlaku ukládán do tlakové nádoby. Kompresorů je několik typů. Mezi nejběžnější patří pístové kompresory nebo šroubové kompresory. Pro odstranění hrubých nečistot, které byly nasáty během pracovního cyklu kompresoru, se do potrubí mezi kompresorem a tlakovou nádobou vkládá hrubý filtr. První část schématu (Obr. 5 – modré ohraničení) zobrazuje výrobu stlačeného vzduchu. 1 – kompresor, 2 – filtr hrubých nečistot.



Obr. 5) Řetězec výroby stlačeného vzduchu [7]

• Uchování stlačeného vzduchu

Pro uchování stlačeného vzduchu slouží tlakové nádoby. Jejich velikost záleží na spotřebovávaném množství stlačeného vzduchu. Tlakové nádoby jsou dostupné jak v ležatých, tak stojacích variantách. Objem nádoby se pohybuje řádově v rozmezí desítek litrů až tisíců litrů. Vzduch může být stlačen až na 16 bar. Uchování stlačeného vzduchu je na obrázku (Obr. 5 – zelené ohraničení). 3 – tlaková nádoba, 4 – vypouštění kondenzátu. [7]

• Úprava stlačeného vzduchu

Za tlakovou nádobou následuje jednotka pro sušení vzduchu, která zajistí dlouhodobý provoz potrubního systému bez nutných servisních zásahů. Za sušičkou následuje filtr, který dále zbavuje stlačený vzduch vstupující do obvodu nečistot. Sušička a filtr je na obrázku (Obr. 5 – fialové zvýraznění). 5 – sušička, 6 – filtr. [7]

• Rozvod stlačeného vzduchu

Poslední částí obvodu je rozvod stlačeného vzduchu. Rozvodné potrubí musí být umístěno pod spádem 1- 2°, aby bylo možné z potrubí vypouštět případný kondenzát. Rozvodné potrubí může být z různých materiálů, oceli, pozinkované oceli, hliníku, plastu. Materiál se volí v závislosti na velikosti průmyslového provozu. Rozlišujeme dva typy vedení, přímé vedení a okružové vedení. Okružové vedení má následující výhody, stlačený vzduch proudící ke každému uzlu z obou stran a snadný návrh i rozsáhlých a složitých pracovních okruhů. Rozvod vzduchu je na obrázku (obr. 5 – černé ohraničení). 4 – vypouštění kondenzátu, 7 – uzavírací ventil, 8 – jednotka pro úpravu vzduchu. [7]

4.2 Prvky pneumatického obvodu

Obecný pneumatický obvod se skládá z různých pneumatických prvků. Následující část práce bude popisovat funkci jednotlivých prvků a jejich nároky na používané prostředí.

Tab. 2) Třídy čistoty stlačeného vzduchu [8]

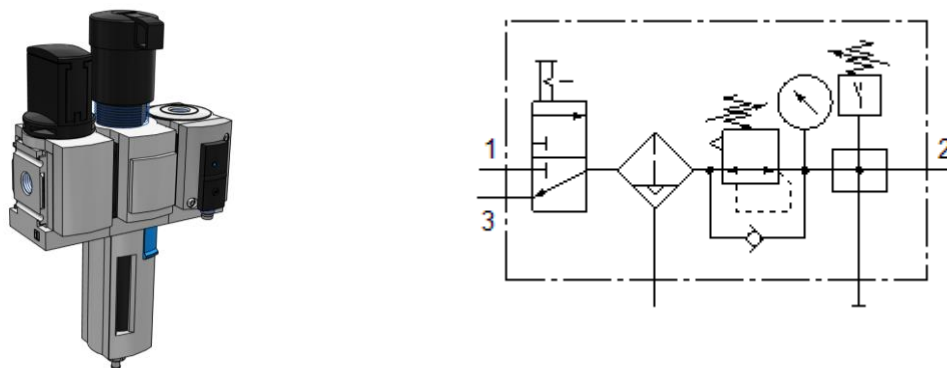
třída	Pevné nečistoty			Voda	Olej
	Maximální počet pevných částic na m ³			Tlakový rosný bod vodních par	Celkový obsah oleje (kapalné aerosoly a mlhy)
	0,1 – 0,5 μm	0,5 – 1 μm	1 – 5 μm		mg/ m ³
0	Podle specifikace určené uživatelem, mnohem přísnější požadavky než třída 1				
1	≤20 000	≤400	≤10	≤-70 °C	0,01
2	≤400 000	≤6 000	≤100	≤-40 °C	0,1
3	–	≤90 000	≤1.000	≤-20 °C	1
4	–	–	≤10.000	≤+3 °C	5
5	–	–	≤100.000	≤+7 °C	–
6	–	–	–	≤+10 °C	–

4.2.1 Úprava stlačeného vzduchu

Pro zaručení správné funkce zařízení, které ke svému použití vyžaduje stlačený vzduch, je nutná jeho úprava na požadované vlastnosti.

ISO 8573-1 je norma, která určuje čistotu stlačeného vzduchu. Norma je rozdělena do 7 tříd. Každá z těchto tříd určuje povolené hodnoty pro pevné částice, vodu a oleje. U pevných částic a olejů se určuje jejich množství na metr krychlový, zatímco u vody tlakový rosný bod vodních par. Tabulka (Tab. 2) popisuje maximální hodnoty pro danou třídu. Jednotlivé provozy určují kvalitu stlačeného vzduchu podle trojice čísel, která stanovuje použitou třídu u jednotlivých aspektů (pevné nečistoty, voda, oleje). Na základě použití stlačeného vzduchu se volí jednotlivé filtry pro jeho úpravu. Není vhodné stlačený vzduch čistit více než je nutné. Každý filtr má tlakový spád, který lze kompenzovat zvýšením tlaku stlačeného vzduchu jdoucího z kompresoru, tím se však zvyšuje ekonomická zátěž systému. [8]

Na obrázku (Obr. 6 - vlevo) je 3D náhled jednotky pro úpravu vzduchu. Její vlastnosti jsou maximální výstupní tlak 10 barů, filtr 40 μ , manometr, uzamykatelná regulační hlavice, nádobka z plastu s ochranným košem z plastu, s ručním odpouštěním kondenzátu, směr proudění zleva doprava. Čistota stlačeného vzduchu vycházejícího z této jednotky je podle normy ISO 8573-1 [7:4:4]. Schématická značka jednotky pro úpravu vzduchu je na obrázku (Obr. 6 - vpravo). [9]



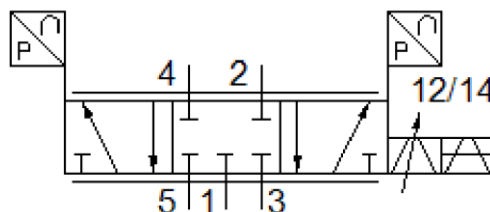
Obr. 6) Jednotka pro úpravu vzduchu (vlevo) a její schématická značka (vpravo) [10]

4.2.2 Proporcionální ventily

Proporcionální ventily pracují na principu převodu velikosti elektrického signálu na tlak či průtok stlačeného média. Určité velikosti elektrické veličiny (elektrické napětí nebo elektrický proud v závislosti na typu proporcionálního ventilu) odpovídá hodnota tlaku. Ventily lze rozdělit na proporcionální cestné ventily, proporcionální tlakové ventily a proporcionální průtokové ventily. Následuje popis jednotlivých variant ventilů.

- **Proporcionální cestný ventil FESTO VPWP**

Proporcionální cestný 5/3 ventil od firmy Festo (Obr. 7 - vlevo) obsahuje dvě tlaková čidla a je vybaven diagnostickými funkcemi. Dostupné jsou pro velikosti potrubí 4, 6, 8 a 10 mm, ke kterým se vážou průtoky 350, 700, 1400 a 2000 l/min. Mezi další vybavení patří spínaný výstupní signál pro ovládání brzdy. Vstupy a výstupy jsou barevně odlišeny. Řízení zajišťují ovladače CPX-CMPX a CPX-CMAX. Uvedení do provozu je rychlé a bezproblémové. Vše potřebné je nastavené přímo od výrobce. [11]



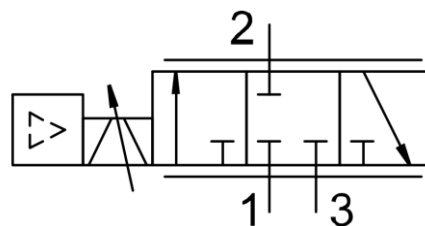
Obr. 7) Proporcionální ventil VPWP (vlevo) a jeho schématická značka (vpravo) [11] [12]

Schématická značka proporcionálního ventilu VPWP (Obr. 7 - vpravo) ukazuje vnitřní blokové uspořádání ventilu VPWP. Ventil je bez přívodu energie uzavřen a to i v případě výpadku elektrické energie. Vstupní signál je přiveden na solenoid, který proporcionálně k tomuto signálu nastaví hodnotu na výstupu z ventilu VPWP. Návrat do základní polohy je realizován magnetickou pružinou. Pístové šoupě pneumatického ventilu je ovládáno elektrickou cívkou. Na základě tohoto pohybu se otevře přívod stlačeného vzduchu, který podle směru posunutí šoupěte proudí daným výstupním kanálem. Proporcionální cestný ventil VPWP najde využití v aplikacích náročných na přesnost polohování a rychlost přesunu pohyblivého členu aplikace. [12]

- **Proporcionální průtokový ventil VPCF**

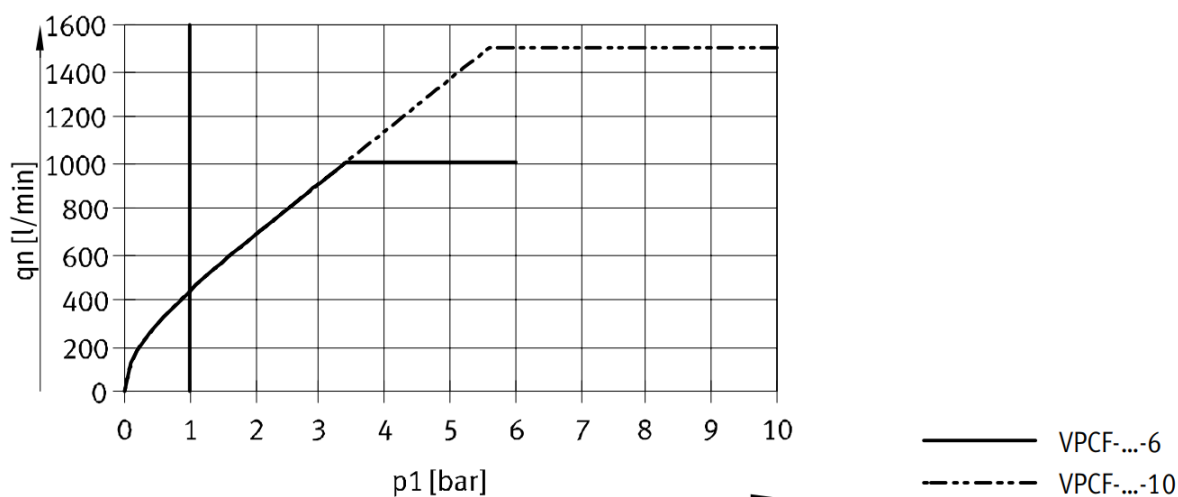
Proporcionální ventil VPCF (Obr. 8 - vlevo) je ventil pro nastavování průtoku. Je konstruován jako ventil 3/3. Má tři porty, z toho jsou dva pro výstup (jeden pracovní, druhý odpadní) a jeden jako vstup stlačeného vzduchu, a tři pracovní polohy. Ve středové poloze je ventil uzavřen. V krajních polohách jsou pracovní polohy. V jedné poloze zvyšuje průtok daným výstupem a v poloze druhé vypouští přebytečný stlačený vzduch přes tlumič hluku do okolní atmosféry. Je ovládán proporcionálně řízeným solenoidem jako předchozí ventil VPWP. Součástí ventilu je integrovaný regulátor průtoku. Tento regulátor určuje hodnotu průtoku vzduchu na základě naměřených hodnot a porovnáním těchto hodnot s nastavenou hodnotou. Ventil bude stále nastavovat výstupní hodnotu průtoku vzduchu, dokud nebude dosaženo požadovaného průtoku. [15]

Dostupné jsou dvě verze tohoto ventilu pro maximální pracovní tlak 6 bar, VPCF-6-L-8-G38-6, a 10 bar, VPCF-6-L-8-G38-10. Model VPCF-6-L-8-G38-6 je schopen řídit průtok v rozsahu 50 – 1000 l/min. Model VPCF-6-L-8-G38-10 poté 75 – 1500 l/min. [15]



Obr. 8) Proporcionální ventil VPCF (vlevo) a jeho schématická značka (vpravo) [13] [14]

Graf (Obr. 9) ukazuje závislost maximálního možného průtoku na tlaku.

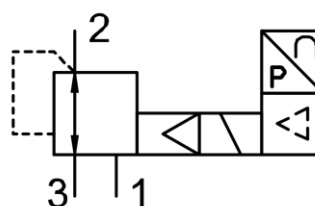


Obr. 9) Graf závislosti tlaku na průtoku [15]

- **Proporcionální tlakový ventil VPPM**

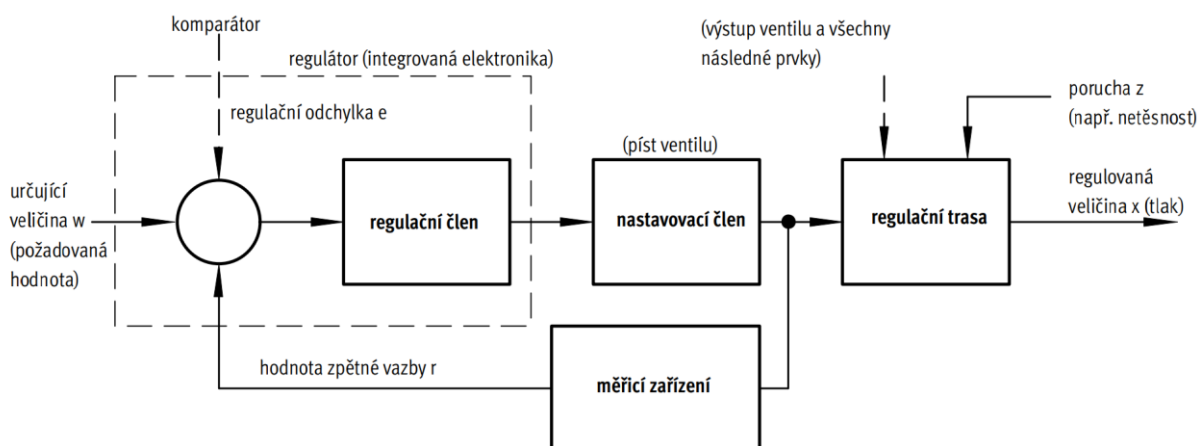
Ventil s označením VPPM (Obr. 10 - vlevo) je proporcionální redukční ventil od firmy Festo a jde o nepřímo řízený membránový redukční ventil. Slouží k proporcionálnímu nastavení výstupního tlaku na základě požadované hodnoty. Integrovaný snímač tlaku kontroluje výstupní hodnotu a v případě odchylky od požadované hodnoty provádí korekci, dokud není výstupní veličina rovna požadované hodnotě. [16]

Schématická značka VPPM ventilu (Obr. 10 - vpravo) znázorňuje jeho vnitřní uspořádání. Tělo ventilu je osazeno třemi porty, vstupem s označením (1); výstupem s označením (2) a odpadní větví s označením (3).



Obr. 10) Proporcionální ventil VPPM (vlevo) a jeho schématická značka (vpravo) [17]
[18]

Bloková konstrukce regulačního obvodu (Obr. 11) vyjadřuje regulační proces uvnitř ventilu VPPM. Určující veličina W je v komparátoru porovnaná se skutečnou hodnotou X , která je výstupem měřicího zařízení v podobě hodnoty zpětné vazby r . Výsledek tohoto porovnání je v podobě regulační odchylky přiveden na regulační člen. Regulační člen na základě tohoto vstupu řídí nastavovací člen. Smyčka probíhá tak dlouho, dokud se požadovaná hodnota nebude rovnat hodnotě regulované veličiny. Regulace může být rušena z následujících důvodů: náhlé zvýšení odběru v dané větvi, netěsnost obvodu apod. [19]



Obr. 11) Blokové schéma ventilu VPPM [19]

4.2.3 Lineární pneumatické aktuátory

Pro realizaci lineárního pohybu pomocí pneumatického aktuátoru se využívají lineární pneumatické válce. Pro použití tohoto aktuátoru jako prvku pro pneumatický servopohon se využívá z důvodu integrovaného systému odměřování polohy. Aktuátory lze rozdělit na pístové a bezpístové a ty dále na aktuátory s vedením nebo bez vedení. Verzi s lineárním vedením je možné daleko více zatížit ve všech směrech. Jednotlivé typy jsou popsány dále.

- **Pneumatický aktuátor FESTO DDLI**

Přímočarý pneumatický pohon FESTO DDLI je tvořen válcem bez pístní tyče s odměřováním (Obr. 12). Posuvné saně jsou mechanicky spojeny s vnitřním pístem válce. Z vnitřní strany válce je těsnicí pásek, který utěsňuje vnitřní prostor válce proti úniku stlačeného vzduchu. Z vnější strany je válec chráněn proti nečistotám pomocí ocelového krycího pásku.

Pneumatické válce bez pístní tyče mají malou zástavbovou velikost. Jejich montáž je možná v jakékoliv pozici. Odměřovací systém je magnetostriktivní, bezdotykový a absolutní. [20]

- **Pneumatický aktuátor FESTO DNCI**

Přímočarý pneumatický pohon s odměřováním (Obr. 13) od výrobce Festo je válec s pístní tyčí s inkrementálním odměřováním. Uvnitř pístní tyče je magnetická páska. Na koncovém členu pneumatického válce je snímač, který převádí magnetické impulsy na elektrický signál v závislosti na směru jízdy pístní tyče. Snímač polohy je inkrementální. Z toho důvodu vyžaduje kalibraci pneumatického válce před spuštěním systému nebo např. při výpadku elektrické energie. [21]



Obr. 12) Pneumatický aktuátor DDLI [22]



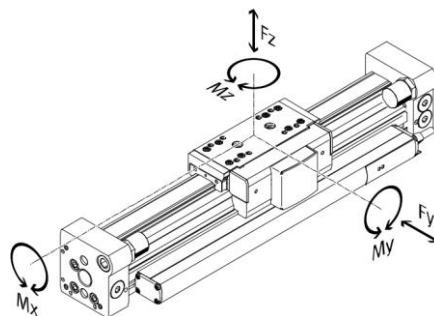
Obr. 13) Pneumatický aktuátor DNCI [23]

- **Pneumatický aktuátor FESTO DGCI**

Přímočarý pneumatický pohon s odměřováním (Obr. 14) od výrobce Festo je pneumatický válec bez pístní tyče. Posuvné saně jsou pevně spojeny s pístem uvnitř válce. Drážka ve válci, která umožňuje pohyb jezdce, je z horní strany kryta ocelovým páskem a z vnitřní strany je těsnicí pásek pro zaručení těsnosti vnitřního prostoru. Válec DGCI má na rozdíl od válce DDLI saně vedené pomocí lineárního vedení. [25]



Obr. 14) Pneumatický aktuátor DGCI [24]



Obr. 15) Schématické zobrazení zatěžovacích sil a momentů [25]

Tabulka (Tab. 3) vyjadřuje porovnání zatěžovacích limitů u řady DDLI bez lineárního vedení a DGCI verze s lineárním vedením. Z hodnot je patrný velký nárůst možného zatížení u verze DGCI s lineárním vedením. Zatěžovací směry jsou patrné ze schématu (Obr. 15).

Tab. 3) Zatěžovací limity [20] [25]

Průměr pístu 32 mm		
Zatížení	DGCI	DDLI
Mx [Nm]	54	1,9
My [Nm]	150	40
Mz [Nm]	150	5

4.2.4 Způsoby odměřování

Pro správnou funkci systému je nutné kvalitní zařízení pro odměřování polohy. Odměřování se rozděluje dle polohy odměřovacího zařízení na přímé odměřování a nepřímé odměřování.

Přímé odměřování je připevněné přímo na části zařízení, která koná výsledný pohyb. Tento způsob odměřování je přesný, protože výsledek není zkreslený vůlemi a tolerancemi jednotlivých prvků, které jsou v zástavbě zařízení mezi aktuátorem a sestavou konající výsledný pohyb. [2]

Nepřímé odměřování je připevněno na aktuátor. Snímání polohy (nastavené hodnoty) z aktuátoru je méně přesné než odměřování přímé. Hodnota odečtená z aktuátoru může být rovna hodnotě požadované, ale poloha systému nemusí být ve správné poloze. [2]

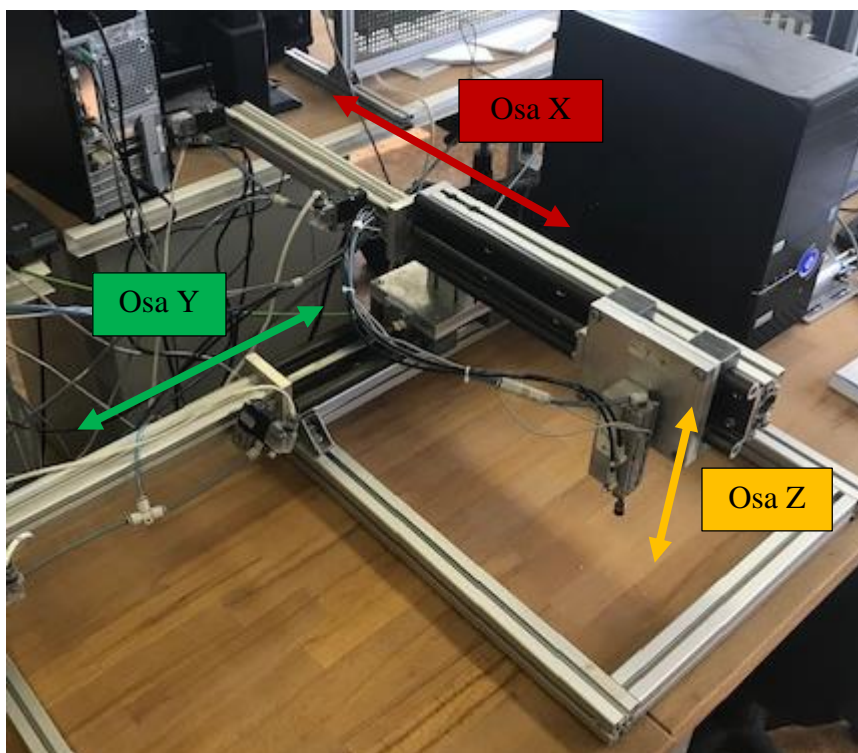
Dále lze odměřovací systémy rozdělit dle způsobu snímání informace o poloze na inkrementální odměřování a absolutní odměřování.

V případě inkrementálního odměřování nemá zařízení po zapnutí informaci o aktuální poloze. Zařízení při snímání polohy rozlišuje pouze směr pohybu a jednotlivé body, které podle koeficientu přepočítá na hodnotu např. v mm. Proto je nutné polohu zařízení řádně vynulovat v referenční poloze. Tato zařízení jsou levná, ale vyžadují nulování referenční polohy. [2]

Systém s absolutním odměřováním má v každém okamžiku přesnou informaci o aktuální poloze. Měrné pravítko absolutního odměřovacího systému dokáže rozlišit směr pohybu i aktuální polohu. Každý bod měrného pravítka nese informaci o aktuální poloze ve speciálním kódu. Tato zařízení mají vyšší pořizovací cenu, ale zvyšují komfort při používání zařízení. [2]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část této bakalářské práce pojednává o návrhu řídicího systému pneumatického manipulátoru (Obr. 16). Manipulátor má dvě řízené osy X a Y, které jsou vybaveny odměřováním polohy. Osa Z je schopna zaujmout dvě polohy. Na konci osy Z je vakuový úchop. Manipulátor je programován skrze PLC SW TwinCAT.



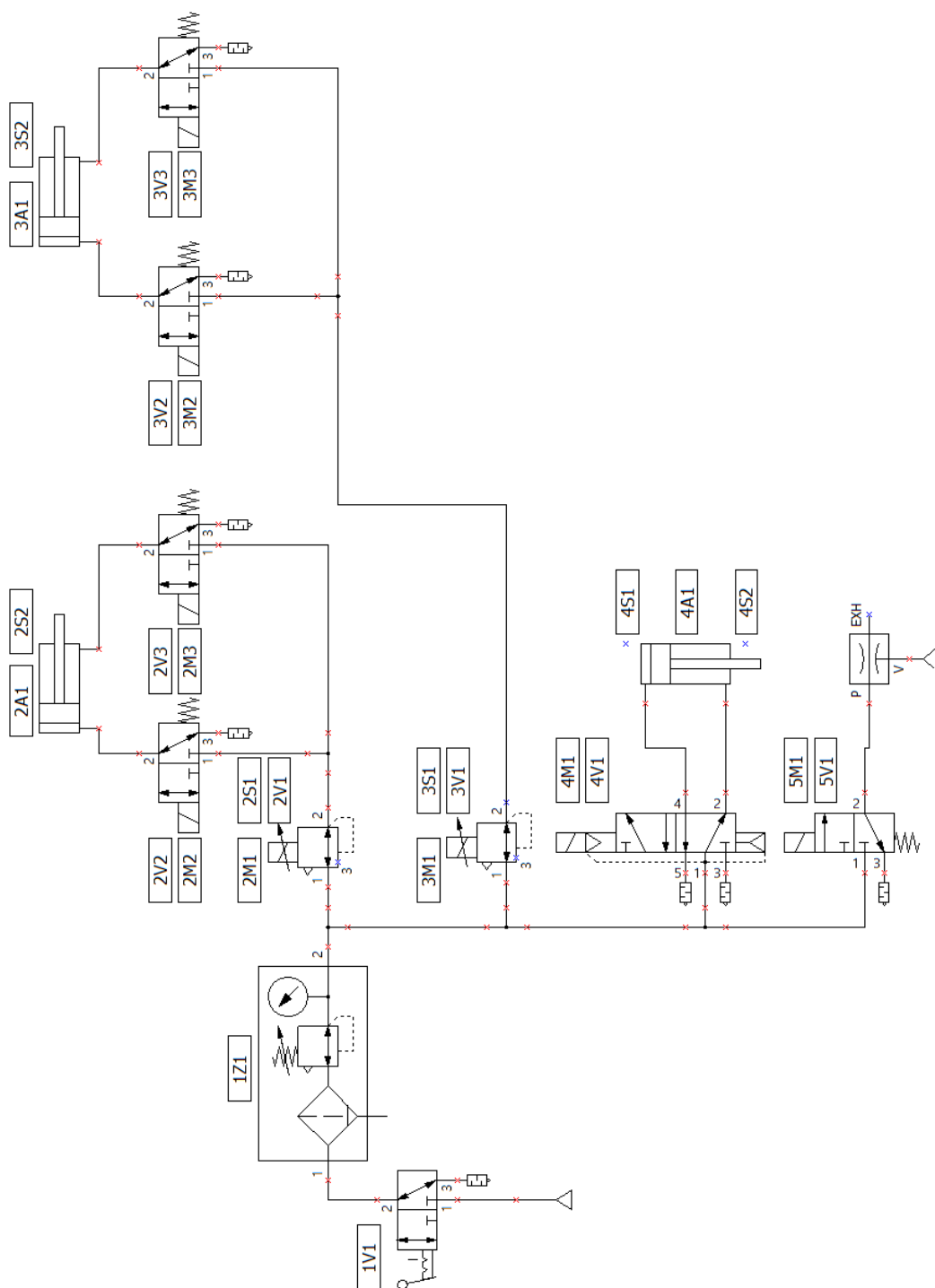
Obr. 16) Pneumatický manipulátor

5.1 Popis manipulátoru

Manipulátor se skládá z rámu, který tvoří hliníkové profily o rozměru 40 x 40 mm. Na rám jsou pomocí spojovacích prvků umístěny pneumatické válce (2x) s odměřováním SMC CE1B32-300ZL. Zdvih pneumatického válce je 300 mm. Písty pneumatických válců pohybují osou Z v daném směru (X a Y). Pohyb je realizován na dvojité kolejnici se čtyřmi kluznými ložisky od firmy IGUS. Řízení tlaku je prováděno pomocí proporcionálních tlakových ventilů (4x) SMC ITV 1030-31F1N-Q. Nastavený tlak je dále směřován na vstupní nebo výstupní port pneumatického válce pomocí ventilů (4x) SMC EVT307-5D0-01F-Q. Osa Z se skládá z pneumatického válce SMC ZCDUKC16-30D se dvěma snímači polohy namontovanými v drážce profilu válce. Na konci osy Z je umístěn efektor v podobě pneumatického úchopového bodu. Podtlak je vytvářen pomocí ejektoru za průtoku stlačeného vzduchu, který je do systému pouštěn pomocí ventilu SMC SY3120-5L0U-C4-Q.

5.2 Pneumatické schéma manipulátoru

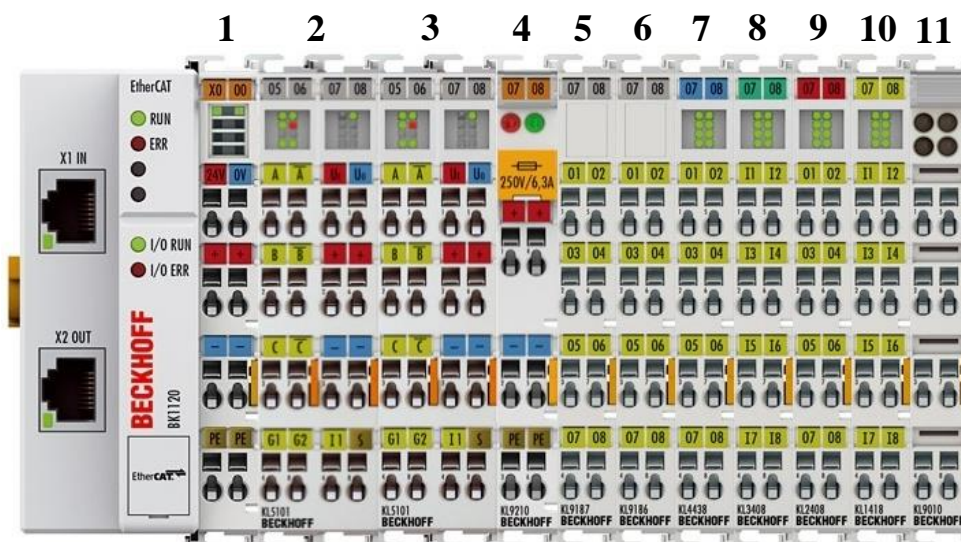
Pneumatické schéma (Obr. 17) znázorňuje propojení jednotlivých pneumatických prvků. Prvky jsou označeny podle funkce. A – aktory, M – elektromotory, S – zdroje signálů. V – ventily, Z – ostatní prvky. [2]



Obr. 17) Pneumatické schéma pneumatického manipulátoru

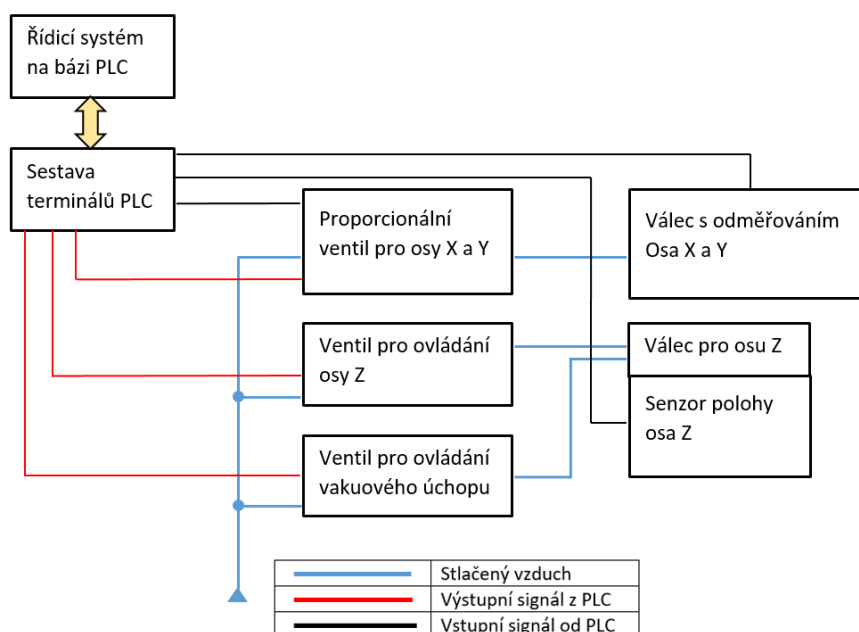
5.3 Návrh zapojení pneumatického manipulátoru

V rámci práce je HW část realizována pomocí prvků od firem Beckhoff a SMC. Komunikaci mezi SW částí PLC a pneumatickými prvky zajišťují terminály s řadovým označením KL a spojovací prvek Bus Coupler, který zajišťuje komunikaci mezi EtherCAT sběrnici a KL terminály. Sestava terminálů (Obr. 18) zajišťuje veškeré potřebné propojení SMC pneumatických prvků, senzorů a odměřování polohy. [26]



Obr. 18) Sestava terminálů [43]

Blokové schéma pneumatického manipulátoru (Obr. 19) vyjadřuje propojení jednotlivých HW prvků systému. Jednotlivá vedení jsou barevně odlišena. Modré vedení představuje přívod stlačeného vzduchu, červené vedení znázorňuje tok informací směrem z PLC a černé vedení tok informací směrem do PLC.



Obr. 19) Blokové schéma zapojení manipulátoru

V následujících odstavcích budou popsány jednotlivé terminály. Na obrázku (Obr. 18) jsou terminály označeny číslem, které je vloženo za kódové označení.

- **BK1120 – 1**

Terminál EtherCAT Bus Coupler zajišťuje propojení EtherCAT s terminály K-Bus. Terminál BK1120 EtherCAT Bus Coupler zajišťuje spojení komunikace mezi EtherCAT a terminály K - bus (KLxxxx). Je možné připojit až 255 terminálů při použití K-Bus extension terminálu. [26]

- **KL5101 – 2 a 3**

Terminál pro inkrementální enkoder má označení KL5101. Na jednotlivé porty terminálu jsou připojeny výstupy z enkoderu použitého pro odměřování polohy pístu pneumatického válce. V naší konfiguraci se tento terminál vyskytuje dvakrát. Na první terminál KL5101 je připojen enkodér pro odměřování polohy osy X. Pro připojení signálu z enkoderu jsou využity porty A a B. Napájení pro terminál je připojeno z hlavního terminálu BK1120. Pro napájení jsou využity porty se znakem PLUS a MINUS v pravé polovině terminálu. Terminál je vybaven vždy dvojicí portů pro daný potenciál. Z druhého portu PLUS a MINUS je napájení vedeno na terminál KL5101 pro odměřování druhé osy. Připojení signálu osy Y na druhém terminálu je vedeno na stejné porty jako v případě osy první. Napájení z druhých svorek pro kladný a záporný potenciál je poté připojeno pro napájení obou enkoderů. [27]

- **KL9210 – 4**

Napájecí terminál s napětím 24 VDC slouží pro interní napájení dalších připojených terminálů. Vstupní napětí je na tento terminál přivedeno z BK1120 (přes KL5101). Poté je propojen s rozvodnou lištou pomocí portů PLUS a MINUS. Port pro připojení ochranných vodičů je v tomto případě nezapojen. [28]

- **KL9187 – 5**

Distribuční terminál slouží pro připojení potenciálu 0V jednotlivých prvků pneumatického manipulátoru. Jsou zde připojeny zemnicí vodiče z proporcionálních ventilů a zemnicí vodiče z pneumatických ventilů, které řídí kladný a záporný směr pohybu pneumatického válce každé z os. [29]

- **KL9186 – 6**

Distribuční terminál pro potenciál 24 VDC poskytuje rozvod kladného potenciálu napětí 24VDC. Na porty terminálu jsou připojeny vodiče proporcionálních ventilů a dva vodiče pro senzory polohy osy Z. [30]

- **KL4438 – 7**

Jedná se o terminál s analogovými výstupy -10 V až +10 V. Potenciál 0 V je zajištěn vnitřním rozvod 0 V od terminálu KL9210. Na porty terminálu jsou připojeny vodiče, které vedou řídicí signál pro proporcionální ventily. [31]

- **KL3408 – 8**

Jde o terminál s analogovými vstupy v rozsahu -10 V až +10 V. Potenciál 0 V je zajištěn vnitřním rozvodem 0 V od terminálu KL9210. Na jeho porty jsou připojeny vodiče z proporcionálních ventilů, které vrací informaci o aktuálním tlaku z ventilu. [32]

- **KL2408 – 9**

Terminál KL2408 je terminál digitálních výstupů z PLC bloku na zařízení. Terminál má 8 výstupů, na které je vysílán signál +24 VDC. Signál z těchto portů ovládá pneumatické ventily, které řídí kladný a záporný směr pohybu pneumatického válce. [33]

- **KL1418 – 10**

Terminál digitálních vstupů KL 1418 zajišťuje příjem náběžné hrany od digitálních senzorů. Je řízen binárním signálem. Rozsah pro FALSE je -3 V až +5 V a rozsah pro TRUE 11 V až 30 V. Jednotlivé aktivní porty jsou vizualizovány rozsvícením LED diody v horní části terminálu. Na jeho porty jsou připojeny vodiče, které vedou signál od senzorů snímajících pozici osy Z. [34]

- **KL9010 – 11**

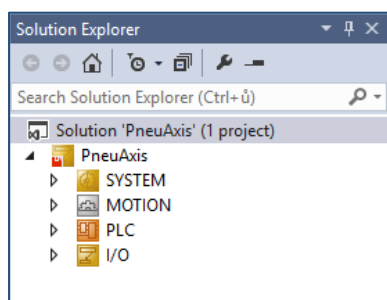
Koncový terminál KL9010 je nutný pro ukončení sady terminálů a pro zajištění výměny dat mezi Bus Couplerem a Bus Terminály. Nemá žádné jiné využití ani možnosti propojení. [35]

5.4 Návrh programu pneumatického manipulátoru

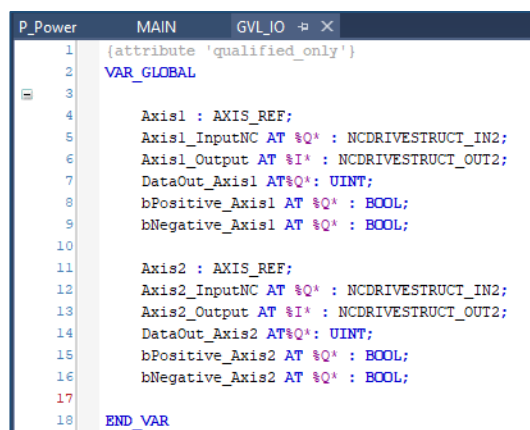
Řídicí systém, dále ŘS, vytváří a zpracovává signály na základě naprogramované sekvence. ŘS může být na bázi samostatného zařízení, které má ve svojí programovatelné paměti uložený program. Tento program je vykonáván ve smyčce, dokud není přerušen. Další možností je ŘS, který je součástí PLC programu běžícího v reálném čase na PC. V případě tohoto řešení je nutné propojit počítač s hardware částí PLC, která se skládá z jednotlivých terminálů. [36]

Softwarem se v řešeném případě rozumí program, který ovládá jednotlivé funkce pneumatického manipulátoru. SW je vytvořen v PLC programu TwinCAT. Pro správnou funkci pneumatického manipulátoru je nutné vytvořit strukturu celého řídicího systému. V následujícím textu bude popsán postup vytvoření dané struktury.

V programu TwinCAT je vytvořen nový projekt TwinCAT Projects s názvem PneuAxis. Po vytvoření projektu se v levé části rozvržení programu vytvoří struktura daného projektu (Obr. 20).



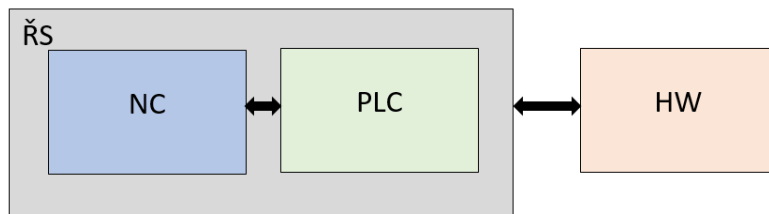
Obr. 20) Struktura projektu



Obr. 21) Datová struktura

V kartě SYSTEM nejsou nutné žádné změny nastavení. Do karty MOTION je vložen prvek Motion Configuration typu NC/PTP NCI Configuration. Další větvení a nastavení karty proběhne v průběhu konfigurace dané pneumatické osy. Do karty PLC se vloží prvek Standard PLC Project s názvem PLC. Do karty PLC je dále nahrána knihovna PLC Tc2_MC2.

V rámci karty PLC je vytvořen prvek globálních proměnných s názvem GVL_IO. Pro možnost úpravy jednotlivých parametrů prvku MOTION v rámci PLC je nutné vytvoření datové struktury (Obr. 21), která nám zajistí převod hodnot i se skrytými bity. Řešený případ vyžaduje úpravu několika hodnot z NC části ŘS v PLC (Obr. 22). Tento princip umožňuje přístup k hodnotám, které jsou při standardním použití skryté.



Obr. 22) Blokové schéma komunikace

Datový typ AXIS_REF obsahuje informace o dané ose. Pracuje jako rozhraní mezi PLC a NC řízením. Každý funkční blok knihovny MC pracuje s AXIS_REF jako s odkazem na osu. [37]

V listu globálních proměnných je nutné provázat výstupy z Axis1 – Drive – Outputs - Out s PLC. K tomuto kroku slouží datová struktura NCDRIVESTRUCT_OUT2. Tento postup zajistí přístup k jednotlivým proměnným Drive části osy Axis1 pro další úpravu v PLC. V listu globálních proměnných je také nachystaná struktura pro vstupy NCDRIVESTRUCT_IN2. Tuto strukturu během práce nepoužijeme. V listu proměnných je tato struktura vložena pro případné další úpravy nebo rozvíjení programu.

V kartě POU (Program Organization Unit) je v základu vytvořen program s názvem MAIN (PRG). Samotný program se v POU píše jako strukturovaný text. V daném případě se do programu napíší příkazy z obrázku (Obr. 23).

```

MAIN*  ↗  ✕
1  PROGRAM MAIN
2  VAR
3      DataOut_Axis1: UINT;
4
5      DataOut_Axis2: UINT;
6
7  END_VAR
8
9
10 P_Power();
11
12 DataOut_Axis1 := GVL_IO.Axis1_Output.nDataOut1[0];
13
14 IF DataOut_Axis1 > 32767 THEN
15     gvl_IO.DataOut_Axis1 := 65534 - DataOut_Axis1;
16     gvl_IO.bNegative_Axis1 := TRUE;
17     gvl_IO.bPositive_Axis1 := FALSE;
18 ELSE
19     gvl_IO.DataOut_Axis1 := DataOut_Axis1;
20     gvl_IO.bNegative_Axis1 := FALSE;
21     gvl_IO.bPositive_Axis1 := TRUE;
22 END_IF
23
24 DataOut_Axis2 := GVL_IO.Axis2_Output.nDataOut1[0];
25
26 IF DataOut_Axis2 > 32767 THEN
27     gvl_IO.DataOut_Axis2 := 65534 - DataOut_Axis2;
28     gvl_IO.bNegative_Axis2 := TRUE;
29     gvl_IO.bPositive_Axis2 := FALSE;
30 ELSE
31     gvl_IO.DataOut_Axis2 := DataOut_Axis2;
32     gvl_IO.bNegative_Axis2 := FALSE;
33     gvl_IO.bPositive_Axis2 := TRUE;
34 END_IF
35
  
```

Obr. 23) Program MAIN

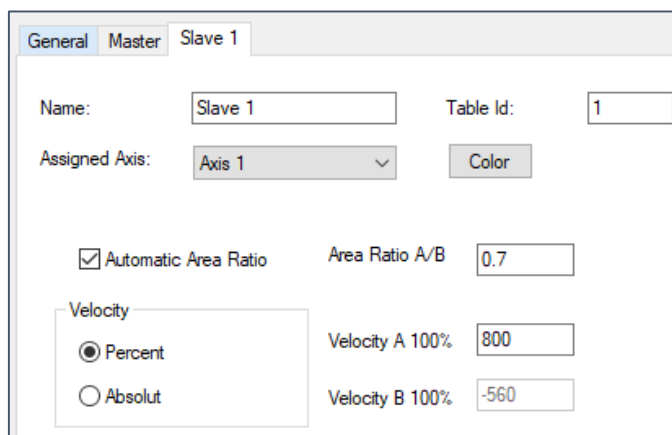
V HW části PLC je k dispozici karta s analogovými výstupy KL4438. Karta pracuje s výstupním signálem ± 10 V a proporcionální ventil je schopný zpracovat pouze signál 0 – 10V. Z toho důvodu je vytvořena sekvence v programu MAIN (PRG). Sekvence zajistí výstup z karty KL4438 v rozsahu 0 – 10 V. [31] [38]

Dalším dílčím programem PLC je program P_Power, který zajistí aktivování dané osy. V řešeném případě bude toto aktivování možné až po řádném provedení sekvence HOME, která bude popsána v dalším textu práce.

Jednotlivé výstupy z PLC je nutné nalinkovat na dané porty jednotlivých terminálů. Popis jednotlivých propojení je v příloze práce. Je nutné dodržet správnost propojení. V opačném případě nebude manipulátor pracovat správně. Po propojení proměnných je již možné manipulátor ovládat. Jeho chod však bude nepravidelný s velkými překmity a nemožností zajištění opakovatelné přesnosti polohování. Proto je nutné v rámci MOTION přidat několik prvků a nastavit jednotlivé parametry, které budou daný manipulátor řídit a regulovat s danými požadavky na plynulost a přesnost.

V rámci karty MOTION – Tables je nutné vytvořit prvek pro ovládání ventilu. Nejprve je vytvořen prvek Master a do něj vložen prvek Slave. Pro každou osu je nutné vytvořit jeden Master a jeden Slave. Při vytváření prvku Master je pod řádkem s názvem možno zvolit dva typy schémat. Motion Diagram nebo Valve Diagram.

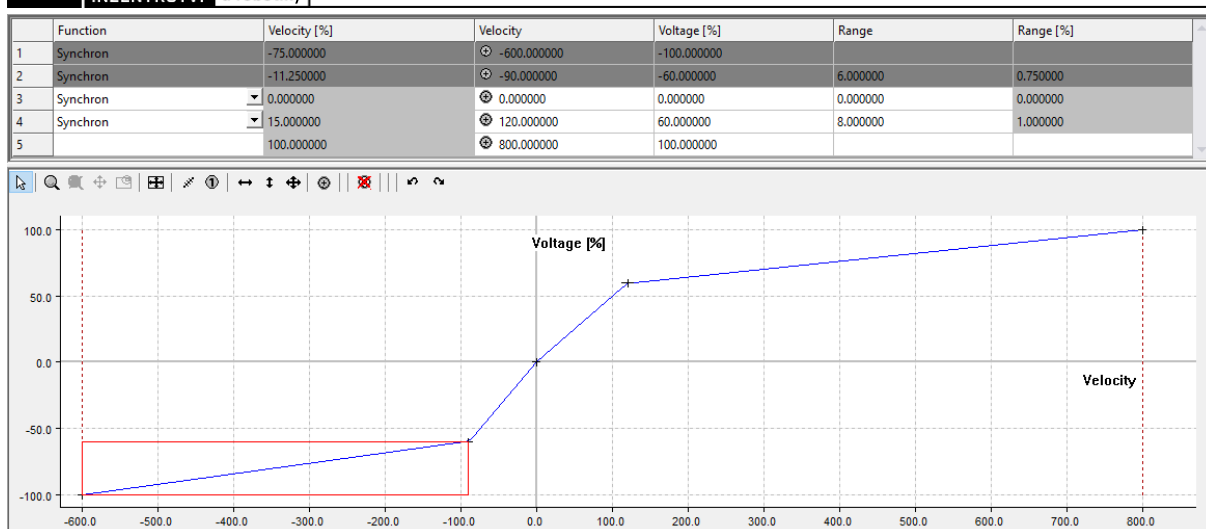
V tomto případě je zvolen typ Valve Diagram. Následně je v každém prvku Master vytvořen prvek Slave. V kartě Master na záložce Slave je nastaveno Assigned Axis pro danou osu a požadovaný poměr ploch pneumatického válce, poměr obou ploch pístu. Jedna plocha je přes celý průměr válce a druhá plocha je zmenšena o plochu zabírající píst.



Obr. 24) Nastavení prvku slave

Nastavení karty Slave je patrné z obrázku (Obr. 24). Prvek Slave je přiřazen dané ose. Dále je vyplněn poměr stran pístu A/B v tomto případě hodnota 0,7 [-]. Hodnota Velocity A 100% je nastavena na 800m/s. Shodné nastavení je provedeno i pro 2. osu.

Grafické nastavení parametrů pro ovládání proporcionálních ventilů (Obr. 25) umožňuje nastavení poměru mezi rychlostí a ovládacím napětím. Pro každý směr je možné nastavit individuální hodnoty a seřadit tak ventil na správné výstupní parametry.



Obr. 25) Grafická verze nastavení ventilu

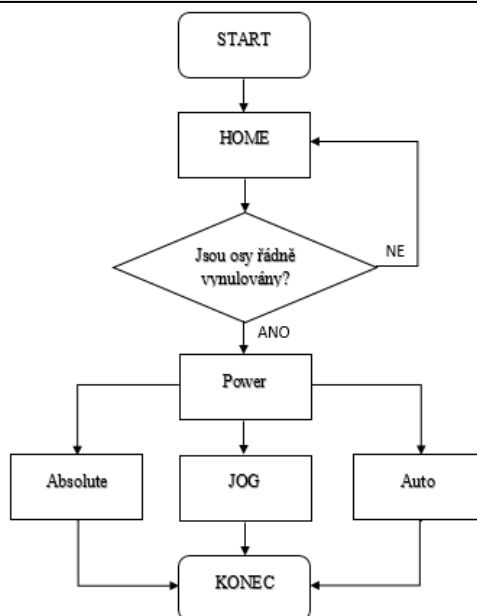
V rámci karty Axis – Settings je nutné propojit položku Link To I/O s daným enkodérem terminálem. V rámci karty Axis – Parameter je zapotřebí nastavit několik hodnot podle tabulky v příloze. Na kartě Enc se nastaví několik parametrů na základě tabulky v příloze. Pro správnou funkci odměřování se stanoví Scaling Factor. V řešeném případě má pneumatický lineární pohon zdvih 300 mm. Systém odměřování je schopný na této délce rozpoznat 12 026 různých bodů. Scaling Factor je vyjádřen pomocí výpočtu (1).

$$sf = \frac{300}{12026} \doteq 0,024945 \text{ mm}/INC \quad (1)$$

Na kartě Ctrl je taktéž nutné provést několik změn v nastavení. Velmi důležitý je správný výběr regulátoru. V programu TwinCAT je na výběr z několika typů regulátorů. V řešeném případě je zvolen Position Controller with PID. Pro zajištění správné funkce je nutné nastavení jednotlivých parametrů regulátoru. Tabulka s parametry je v příloze.

5.5 Vývojový diagram řídicího programu

Pro zajištění správné a bezpečné funkce manipulátoru se provede úvodní sekvence kroků (Obr. 26). Po úvodním bloku START se realizuje krok HOME. V rámci tohoto kroku je zkontrolována pozice osy Z (v zasunuté poloze.) Dále je provedeno znulování aktuální polohy obou os. S každou osou se dojde na její doraz, kde se vyčká určitý časový interval a provede se nastavení referenční (nulové) polohy. Po správném provedení této sekvence je možné přejít ke kroku zapnutí napájení pro celý manipulátor. Poté je možno vybrat ze tří způsobů pohybu, Absolute, JOG a Auto. V režimu Absolute vykoná manipulátor pohyb na nastavenou pozici nastavenou rychlostí. Režim JOG umožňuje ruční ovládání manipulátoru v několika režimech, pomalý nebo rychlý pohyb a krokování nebo průběžný pohyb os. V režimu Auto je možné nastavit matici pozic, na které manipulátor najede, vykoná příslušnou operaci a přesune se na další. Pro ukončení chodu programu slouží tlačítko STOP. Po jeho provedení je vypnuto napájení manipulátoru a je pouze možné přes opětovné zapnutí programu provést sekvenci HOME.



Obr. 26) Vývojový diagram programu

• Blok HOME

Blok HOME (Obr. 27) je část programu, která zajistí vynulování pozice u os X a Y v referenční poloze. Pro spuštění tohoto bloku je použita proměnná bStart datového typu BOOL, která je přivedena na vstup SET klopného obvodu RS. Výstup klopného obvodu Q1 zajistí otevření ventilů pro daný směr připevněných na pneumatický válec a negace výstupu klopného obvodu NOT Q1 zajistí uzavření ventilů na válci v opačném směru. Poté se nastaví pevná hodnota výstupu na proporcionální ventil pro každou osu. Tato hodnota zajistí pohyb obou pneumatických válců směrem k referenčnímu bodu. Doba daného pohybu je nastavena na 5 s pomocí funkčního bloku TON (Timer On Delay). Po uběhnutí nastaveného času je provedeno nastavení aktuální pozice na hodnotu 0 mm pomocí funkčního bloku fbAxisSet. [39]

```

1  fbRS(SET:= bStart, RESET:= fbAxis1Set.Done , Q1=> );
2
3  gvl_IO.bNegative := fbRS.Q1;
4  gvl_IO.bNegative2 := fbRS.Q1;
5
6  gvl_IO.bPositive := NOT fbRS.Q1;
7  gvl_IO.bPositive2 := NOT fbRS.Q1;
8
9  IF fbRS.Q1 THEN
10   gvl_IO.DataOut1 := 15000;
11   gvl_IO.DataOut2 := 15000;
12 ELSE
13   gvl_IO.DataOut1 := 0;
14   gvl_IO.DataOut2 := 0;
15 END_IF
16
17 fbTON(IN:= gvl_IO.bNegative, PT:= T#5S, Q=> , ET=> );
18
19 //Axis1
20 fbAxis1Set(
21   Axis:= gvl_IO.Osa,
22   Execute:= fbTON.Q,
23   Position:= 0,
24   Mode:= ,
25   Options:= ,
26   Done=> ,
27   Busy=> ,
28   Error=> ,
29   ErrorID=> );
  
```

Obr. 27) P_HOME [39]

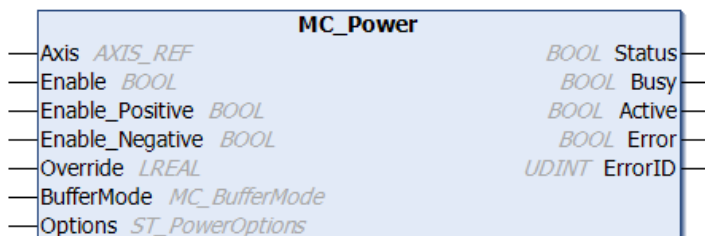
```

1  fbOsaPower(
2   Axis:= GVL_IO.Osa,
3   Enable:= bEnable,
4   Enable_Positive:= bEnable,
5   Enable_Negative:= bEnable,
6   Override:= 100,
7   BufferMode:= ,
8   Options:= ,
9   Status=> ,
10  Busy=> ,
11  Active=> ,
12  Error=> ,
13  ErrorID=> );
  
```

Obr. 28) P_POWER [39]

• Blok Power

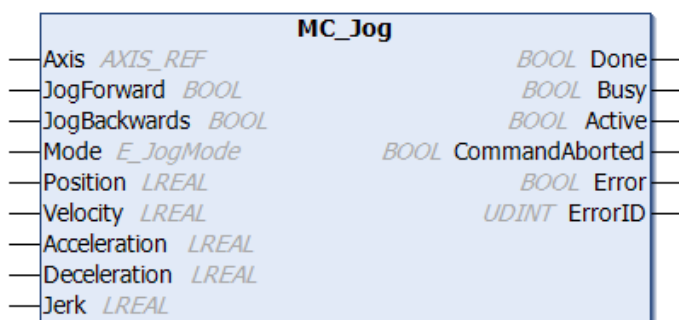
Po úspěšném provedení programu P_HOME je možné pomocí funkčního bloku MC_Power (Obr. 29) zapnout napájení pro danou osu specifikovanou pomocí datové struktury Axis_Ref. Vstup Enable funkčního bloku MC_Power umožní SW ovládání osy specifikované na řádku Axis. Dále funkční blok MC_Power povoluje pohyb v kladném a záporném směru pomocí vstupu Enable_Positive a Enable_Negative. Blok P_POWER je na obrázku (Obr. 28). [40]



Obr. 29) Funkční blok MC_Power

• Blok JOG

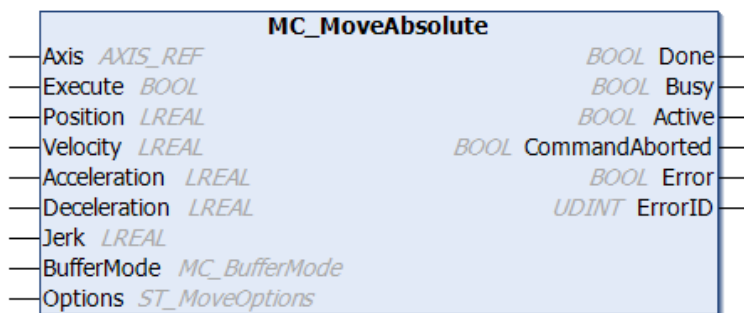
Funkční blok MC_Jog (Obr. 30) umožňuje pohyb osou v ručním režimu. V rámci MC_Jog je možné zvolit ze 4 režimů pohybu. Změnu lze provést přivedením hodnoty na vstup s názvem Mode. Datový typ této proměnné je E_JogMode, který může nabývat hodnot MC_JOGMODE_STANDRARD_SLOW; STANDARD_FAST; CONTINOUS; INCHING. [41]



Obr. 30) Funkční blok MC_Jog

• Blok Absolute

V rámci bloku Absolute vykonává manipulátor pohyb na předem zadanou pozici. Tento blok je realizován funkčním blokem MC_MoveAbsolute (Obr. 31). Nejprve je nutné odkázat se na osu, kterou budeme pohybovat pomocí datové struktury Axis_Ref. Signálem pro spuštění je náběžná hrana na vstupu Execute. Výsledná pozice a rychlost pohybu je definována pomocí vstupů Position a Velocity. Ostatní vstupy jsou ve výchozím nastavení nebo si svoji hodnotu převezmou z NC řízení. [42]



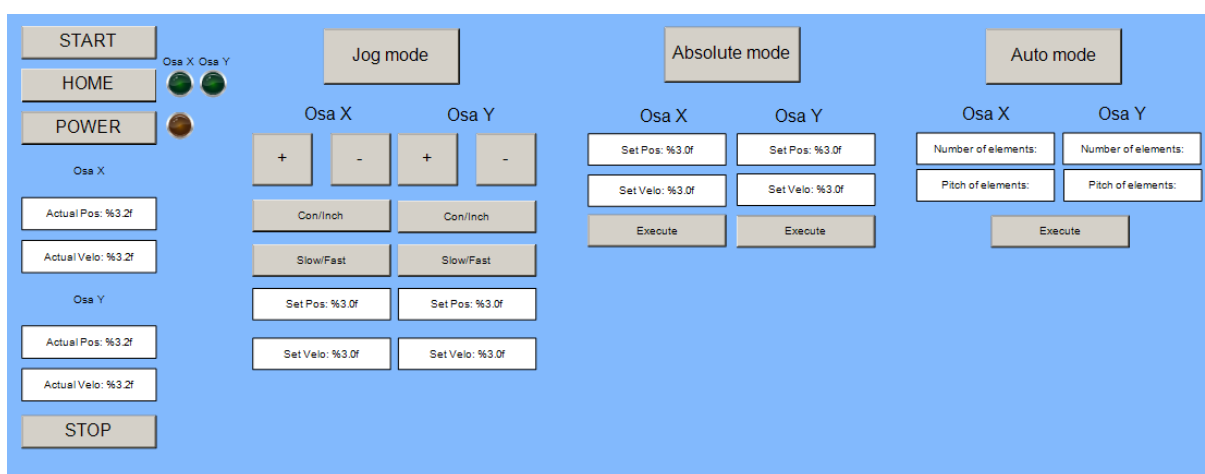
Obr. 31) Funkční blok MC_MoveAbsolute

• Blok Auto

Blok realizuje automatický pohyb po předem zadané matici pozic. Je tvořen sekvencí bloků MC_MoveAbsolute. Manipulátor odebírá materiál z referenční pozice a ukládá jej na předem nastavené pozice. Souřadnice materiálu v ose Z musí být pro každý kus ve stejné výšce.

5.6 Vizualizace SW prostředí

Pro vykonání jednotlivých kroků z předchozího popisu slouží uživatelské rozhraní (Obr. 32). Ke každému tlačítku v rozhraní je přiřazena příslušná funkce dle popisu tlačítka. Uživatelské rozhraní je rozděleno do tří částí. V levé části je Administrativní sekce, která zajišťuje start, home sekvenci, napájení manipulátoru, informaci o aktuální poloze a rychlosti a tlačítko pro vypnutí manipulátoru v případě potřeby. Dále následují sekce pro manuální ovládání manipulátoru, absolutní polohování manipulátoru a režim auto.



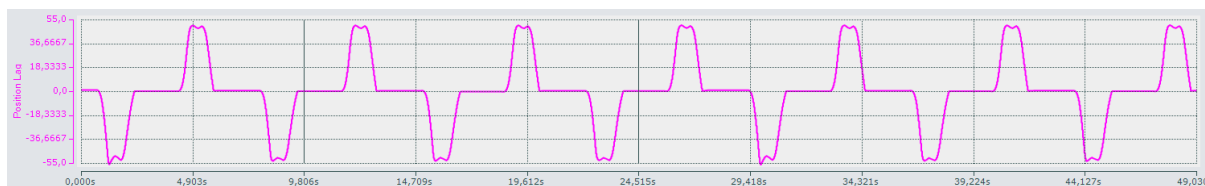
Obr. 32) Uživatelské rozhraní

5.7 Testování pneumatického manipulátoru

Posledním ze zadaných cílů je testování pneumatického manipulátoru. Nejprve bylo nutné manipulátor nastavit do takové formy, aby bylo možné jeho testování. Než bylo známo alespoň základní nastavení, byl manipulátor velmi nestálý a nepředvídatelný. Poté bylo možné zahájit testování jednotlivých parametrů. Testování probíhalo za pomoci SW TwinCAT 3, který umožňuje sledování parametrů během pohybu manipulátoru. Během testování byly měřeny následující veličiny: rychlost, aktuální poloha, nastavená poloha a vlečná chyba. Z veličin je nejzajímavějším parametrem vlečná chyba, která určuje rozdíl mezi nastavenou polohou a aktuální polohou.

Testování bylo provedeno během opakovaného pohybu z polohy 50 mm do polohy 250 mm. Rychlosti pohybu byly 50, 100, 200 a 300 mm/s a doba čekání v koncových pozicích 2 s. Obrázky s výsledky pro jednotlivé hodnoty rychlostí jsou v příloze. Výsledky jsou určujícím parametrem pro kvalitu pneumatického manipulátorů. Pneumatické manipulátory, které jsou prodávány jako hotové řešení, jsou schopny opakovatelnosti polohování v rámci $\pm 0,02$ mm. V rámci testování bylo dosaženo přesnosti o hodnotě ± 1 až 5 mm v závislosti na rychlosti pohybu. [16]

Výsledky lze použít pro následné ladění pneumatického manipulátoru. Vzhledem ke stlačitelnosti použitého média (vzduch) a velkému počtu třecích ploch systému je složité nastavit manipulátor pro přesné polohování. V případě rychlosti 50 mm/s je hodnota vlečné chyby nejmenší cca. ± 35 mm a výsledný rozdíl nastavené a reálné pozice v krajních polohách je cca. ± 10 mm. Při zvětšování rychlosti se velikost vlečné chyby při pohybu osy zvětšuje, zatímco přesnost polohování se zlepšuje. Při rychlosti 200 mm/s je rozdíl nastavené polohy a reálné polohy dokonce menší než 1 mm. Obrázek (Obr. 33) zobrazuje vlečnou chybu pro rychlost 200 mm/s. Horizontální osa vyjadřuje čas v sekundách a vertikální osa vyjadřuje vlečnou chybu v mm.



Obr. 33) Závislost vlečné chyby na čase

Z testování plyne, že manipulátor je méně vhodný pro nízké rychlosti a jeho přesnost polohování roste s jeho rychlostí. Avšak při překročení hranice rychlosti okolo 500 mm/s není nynější konstrukce schopna rychlého zastavení a osa při polohování začne překmitávat svoji nastavenou polohu.

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce pojednává o návrhu řídicího systému pneumatického manipulátoru. Na začátku byla zpracována rešerše, která mapuje stávající možnosti využití pneumatických prvků pro řízení s odměřováním. Praktická část byla poté zaměřena na návrh řídicího systému, návrh zapojení a testování manipulátoru.

Rešerše popisuje jednotlivé prvky, které jsou nutné pro zapojení pneumatického pohonu s odměřováním. Je možné zakoupit hotové řešení přímo od dodavatele nebo zakoupit jednotlivé prvky a sestavit si danou sestavu podle vlastní konstrukce. Proporcionální řízení pneumatických obvodů umožňuje jejich plynulý pohyb a polohování.

Návrh programu pro řízení byl proveden v programu TwinCAT 3 od společnosti Beckhoff. V jeho rámci byl vytvořen projekt, který obsahuje část řízení pohybu, PLC projekt a vizualizaci uživatelského rozhraní. Pro možnost úpravy parametrů pro řízení pomocí PLC bylo nutné tyto dvě části řídicího systému provázat mezi sebou. Toto řešení umožnilo přístup k hodnotám, které jsou v rámci řízení pohybu needitovatelné.

Návrh zapojení obvodů pneumatického manipulátoru byl vyjádřen a popsán pomocí blokového schématu, které vyjadřuje propojení jednotlivých částí obvodu. Podrobnější popis propojení je zpracován ve formě tabulky, která obsahuje jednotlivé proměnné a k nim přiřazené porty terminálu.

Testování manipulátoru bylo provedeno také v programu TwinCAT a bylo zaměřeno na analýzu vlečné chyby při různých hodnotách rychlosti a rozmezí pohybu. Z výsledku vyplynul závěr, že manipulátor je méně vhodný pro polohování při malých rychlostech. Jeho užitná hodnota se začne zvětšovat při zvyšování rychlosti pohybu.

Vypracování této práce mě přivedlo k několika novým tématům a osvojení si základních principů práce se SW TwinCAT.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠULC, Bohumil a Miluše VÍTEČKOVÁ. *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-010-3007-5.
- [2] DILLINGER, Josef a Miluše VÍTEČKOVÁ. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [3] AC Synchronous Servo Motors. In: *KOLLMORGEN* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.kollmorgen.com/sites/default/files/AKM41_LARGE_2.jpg
- [4] KOPÁČEK, Jaroslav. Pneumatické mechanismy - nezbytná součást moderních strojů. *MM Průmyslové spektrum: Monotematická příloha / Fluidní technika*. 2014, **2014**(7), 80.
- [5] Kruhové válce DSNU, metrické. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_DSNU_1?CurrentPartNo=19181
- [6] Hydraulic Cylinder. In: *Tianjin Ruitai Electromechanical Equipment Co., Ltd* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.tjrunitai.com/Uploads/5b353111c11118.jpg>
- [7] Úprava vzduchu, Technické informace [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/ventily/technicke-informace-uprava-vzduchu2/>
- [8] Jak filtrovat stlačený vzduch [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/poradna/jak-filtrovat-stlaceny-vzduch/>
- [9] Jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu MSB, řada MS. In: *FESTO* [online]. 2013 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MS-CONFIG-COMBINATION_CZ.PDF
- [10] Kombinace jedn. pro úpravu stlačeného vzduchu MSB4. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=MSB4-1/4:C3:J5:F1
- [11] Servopneumatics. In: *FESTO* [online]. 2014 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/17314/Servopneumatik_en.pdf
- [12] Proporcionální průtokové ventily VPWP. In: *FESTO* [online]. 2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_CS/PDF/CZ/VPWP_CZ.PDF

- [13] Proporcionální průtokové ventily VPCF. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=VPCF-6-L-8-G38-6-V1-E-EX2
- [14] Proporcionální průtokové ventily VPCF. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=VPCF-6-L-8-G38-6-V1-E-EX2
- [15] Proporcionální průtokové ventily VPCF. In: *FESTO* [online]. 2016 [cit. 2019-05-03]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_CS/PDF/CZ/VPCF_CZ.PDF
- [16] Proportional pneumatics. In: *FESTO* [online]. 2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/36180/Proportional%20pneumatics.pdf>
- [17] Proporcionální redukční ventily VPPM. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=VPPM-6F-L-1-F-0L6H-V1P
- [18] VPPM Operating instructions. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/492281/VPPM_2017-03f_8067800g1.pdf
- [19] Proporcionální redukční ventily VPPM. In: *FESTO* [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_CS/PDF/CZ/VPPM-G_CZ.PDF
- [20] Přímočaré pohony DDLI, integrované odměřování. In: *FESTO* [online]. 2015 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_CS/PDF/CZ/DDLI_CZ.PDF
- [21] Standardsbased cylinder DNCI. In: *FESTO* [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/465915/DNCI_2017-05e_8072825g1.pdf
- [22] Přímočaré pohony s odměřováním DDLI. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=DDLI-32-300-P
- [23] Válce podle norem DNCI, s odměřováním. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=DNCI-32-300-P-A
- [24] Přímočaré pohony s odměřováním DGCI. In: *FESTO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/search?query=DGCI-32-300-KF
- [25] Linear drive with measuringsystem DGCI. In: *FESTO* [online]. 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/468232/DGCI_2017-07c_8075150g1.pdf

- [26] BK1120 EtherCAT Bus Coupler. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/BK1120/>
- [27] KL5101 Incremental encoder interface. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL5101/>
- [28] KL9210 Potential supply terminal, 24 V DC, with diagnostics and fuse. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL9210/>
- [29] KL9187 Potential distribution terminal. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://www.beckhoff.com/english.asp?bus_terminal/kl9187.htm
- [30] KL9186 Potential distribution terminal. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL9186/>
- [31] KL4438 8-channel analog output terminal -10...+10 V. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL4438/>
- [32] KL3408 8-channel analog input terminal -10...+10 V. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL3408/>
- [33] KL2408 8-channel digital output terminal 24 V DC. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL2408/>
- [34] KL1418 8-channel digital input terminal 24 V DC. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL1418/>
- [35] KL9010 End terminal. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/KL9010/>
- [36] Řídicí systém. In: *Wikipedie, otevřená encyklopedie* [online]. 2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98%C3%ADdic%C3%AD_syst%C3%A9m
- [37] AXIS_REF. In: *BECKHOFF* [online]. 2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/54043195598578315.html&id=
- [38] Electro-Pneumatic Regulator. In: *SMC* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.smc-pneumatics.com/pdfs/ITV.pdf>
- [39] MC_SetPosition. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclibmc2/458364299.html&id=>
- [40] MC_Power. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/36028797089013387.html&id=

- [41] MC_Jog. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/27021597834343435.html&id=
- [42] MC_MoveAbsolute. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_mc2/36028797089058699.html&id=
- [43] Bus Terminal. In: *BECKHOFF* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.beckhoff.com/english.asp?bus_terminal/default.htm?id=23562362

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratk

Zkratka	Význam
PLC	Programmable Logic Controller
R	Regulátor
NČ	Nastavovací Člen
A	Aktuátor
HW	Hardware
SW	Software
VDC	Volts Direct Current
LED	Light Emitting Diode
ŘS	Řídicí Systém
NC	Numeric Control
PTP	Point to Point
NCI	Numerical Control Interpolation
MC	Motion Control
POU	Program Organization Unit
I/O	Input/Output
PID	Proportional Integral Derivative
TON	Timer on Delay

8.2 Seznam obrázků

<i>Obr. 1) Blokové schéma servopohonu</i>	17
<i>Obr. 2) Synchronní servomotor [3]</i>	19
<i>Obr. 3) Pneumatický válec (vlevo) [5] a hydraulický válec (vpravo) [6]</i>	20
<i>Obr. 4) Schématická značka lineárního aktuátoru [5]</i>	20
<i>Obr. 5) Řetězec výroby stlačeného vzduchu [7]</i>	21
<i>Obr. 6) Jednotka pro úpravu vzduchu (vlevo) a její schématická značka (vpravo) [10]</i>	23
<i>Obr. 7) Proporcionální ventil VPWP (vlevo)</i> <i>a jeho schématická značka (vpravo) [11] [12]</i>	24
<i>Obr. 8) Proporcionální ventil VPCF (vlevo)</i> <i>a jeho schématická značka (vpravo) [13] [14]</i>	25
<i>Obr. 9) Graf závislosti tlaku na průtoku [15]</i>	25
<i>Obr. 10) Proporcionální ventil VPPM (vlevo)</i> <i>a jeho schématická značka (vpravo) [17] [18]</i>	26
<i>Obr. 11) Blokové schéma ventilu VPPM [19]</i>	26
<i>Obr. 12) Pneumatický aktuátor DDLI [22]</i>	27
<i>Obr. 13) Pneumatický aktuátor DNCI [23]</i>	27

Obr. 14) Pneumatický aktuátor DGCI [24]	27
Obr. 15) Schématické zobrazení zatěžovacích sil a momentů [25]	27
Obr. 16) Pneumatický manipulátor	29
Obr. 17) Pneumatické schéma pneumatického manipulátoru	30
Obr. 18) Sestava terminálů [43]	31
Obr. 19) Blokové schéma zapojení manipulátoru	31
Obr. 20) Struktura projektu	33
Obr. 21) Datová struktura	33
Obr. 22) Blokové schéma komunikace	34
Obr. 23) Program MAIN	34
Obr. 24) Nastavení prvku slave	35
Obr. 25) Grafická verze nastavení ventilu	36
Obr. 26) Vývojový diagram programu	37
Obr. 27) P_HOME [39]	37
Obr. 28) P_POWER [39]	37
Obr. 29) Funkční blok MC_Power	38
Obr. 30) Funkční blok MC_Jog	38
Obr. 31) Funkční blok MC_MoveAbsolute	38
Obr. 32) Uživatelské rozhraní	39
Obr. 33) Závislost vlečné chyby na čase	40

8.3 Seznam tabulek

Tab. 1) Porovnání typů pohonů [2]	19
Tab. 2) Třídy čistoty stlačeného vzduchu [8]	22
Tab. 3) Zatěžovací limity [20] [25]	27

9 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1) Nastavené Axis parametry*
- Příloha 2) Nastavené Enc parametry*
- Příloha 3) Nastavené Drive parametry*
- Příloha 4) Nastavené Ctrl parametry*
- Příloha 5) Výsledky testování pro rychlost 50 mm/s*
- Příloha 6) Výsledky testování pro rychlost 100 mm/s*
- Příloha 7) Výsledky testování pro rychlost 200 mm/s*
- Příloha 8) Výsledky testování pro rychlost 300 mm/s*
- Příloha 9) Propojení jednotlivých prvků s PLC sestavou*

PŘÍLOHY

Parametr	Hodnota	Jednotka
Maximum Dynamics:		
Reference Velocity	800.0	mm/s
Maximum Velocity	800.0	mm/s
Maximum Acceleration	1200.0	mm/s2
Maximum Deceleration	1200.0	mm/s2
Default Dynamics:		
Default Acceleration	1380.43	mm/s2
Default Deceleration	1380.43	mm/s2
Default Jerk	2381.98	mm/s3
Manual Motion and Homing:		
Homing Velocity (towards plc cam)	30.0	mm/s
Homing Velocity (off plc cam)	30.0	mm/s
Manual Velocity (Fast)	200.0	mm/s
Manual Velocity (Slow)	150.0	mm/s
Jog Increment (Forward)	5.0	mm
Jog Increment (Backward)	5.0	mm
Limit Switches:		
Soft Position Limit Minimum Monitoring	TRUE	
Minimum Position	0.0	mm
Soft Position Limit Maximum Monitoring	TRUE	
Maximum Position	300.0	mm
Monitoring:		
Position Lag Monitoring	FALSE	
Maximum Position Lag Value	5.0	mm
Maximum Position Lag Filter Time	3.0	s
Position Range Monitoring	TRUE	
Position Range Window	5.0	mm
Target Position Monitoring	TRUE	
Target Position Window	2.0	mm
Target Position Monitoring Time	2.0	s
In-Target Alarm	FALSE	
In-Target Timeout	5.0	s
Motion Monitoring	FALSE	
Motion Monitoring Window	0.1	mm
Motion Monitoring Time	0.5	s
Setpoint Generator:		
Setpoint Generator Type	7 Phases (optimized)	
Velocity Override Type	Original (iterated)	
NCI Parameter:		
Rapid Traverse Velocity (G0)	2000.0	mm/s
Velo Jump Factor	0.0	
Tolerance ball auxiliary axis	0.0	
Max. position deviation, aux. axis	0.0	
Other Settings:		
Position Correction	TRUE	
Filter Time Position Correction (P-T1)	2.0	s
Backlash Compensation	FALSE	
Backlash	0.0	mm
Error Propagation Mode	'INSTANTANEOUS'	
Error Propagation Delay	0.0	s
Couple slave to actual values if not enabled	FALSE	
Velocity Window	1.0	mm/s
Filter Time for Velocity Window	0.01	s
Allow motion commands to slave axis	TRUE	
Allow motion commands to external setpoint axis	FALSE	
Dead Time Compensation (Delay Velo and Position)	0.04	s
Data Persistence	FALSE	

Příloha 1) Nastavené Axis parametry

Parametr	Hodnota	Jednotky
Encoder Evaluation:		
Invert Encoder Counting Direction	FALSE	
Scaling Factor Numerator	0.0249252243	mm/INC
Scaling Factor Denominator (default: 1.0)	1.0	
Position Bias	0.0	mm
Modulo Factor (e.g. 360.0°)	360.0	mm
Tolerance Window for Modulo Start	0.0	mm
Encoder Mask (maximum encoder value)	0x0000FFFF	
Evaluation Direction (log. count direction)	'POS+NEG'	
Limit Switches:		
Soft Position Limit Minimum Monitoring	TRUE	
Minimum Position	0.0	mm
Soft Position Limit Maximum Monitoring	TRUE	
Maximum Position	300.0	mm
Filter:		
Filter Time for Actual Position (P-T1)	0.0	s
Filter Time for Actual Velocity (P-T1)	0.01	s
Filter Time for Actual Acceleration (P-T1)	0.1	s
Homing:		
Invert Direction for Calibration Cam Search	FALSE	
Invert Direction for Sync Impuls Search	TRUE	
Calibration Value	0.0	mm
Reference Mode	'Hardware Sync'	
Other Settings:		
Encoder Mode	'POSVELO'	
Position Correction	TRUE	
Filter Time Position Correction (P-T1)	2.0	s

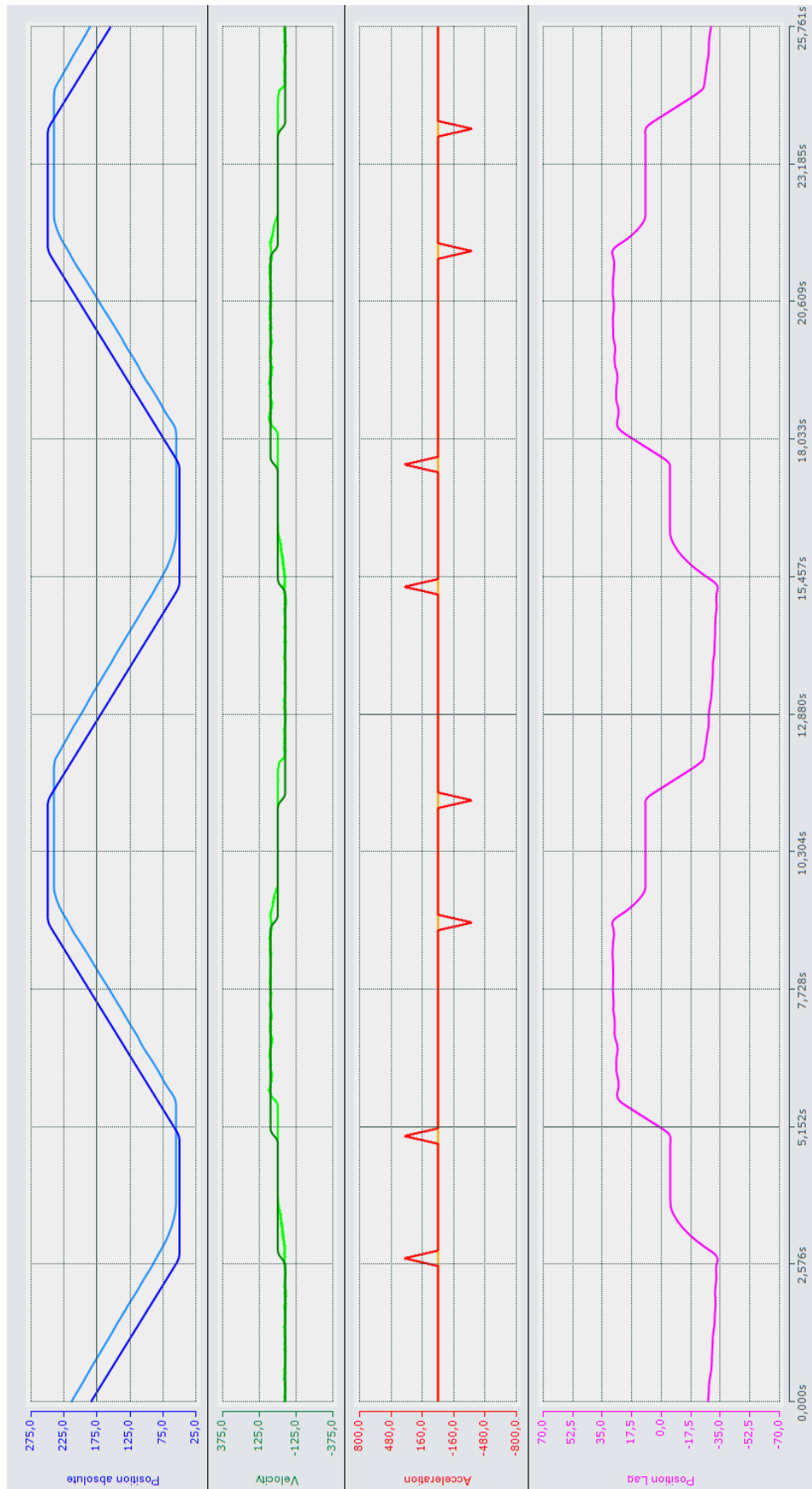
Příloha 2) Nastavené Enc parametry

Parametr	Hodnota	Jednotky
Output Settings:		
Invert Motor Polarity	FALSE	
Reference Velocity	800.0	mm/s
at Output Ratio [0.0 ... 1.0]	1.0	
Position and Velocity Scaling:		
Minimum Drive Output Limitation [-1.0 ... 1.0]	-0.5	
Maximum Drive Output Limitation [-1.0 ... 1.0]	1.0	
Torque and Acceleration Scaling:		
Input Scaling Factor (Actual Torque)	0.1	
Input P-T1 Filter Time (Actual Torque)	0.0	s
Input P-T1 Filter (Actual Torque Derivative)	0.0	s
Output Scaling Factor (Torque)	0.0	
Output Delay (Torque)	0.0	s
Output Scaling Factor (Acceleration)	0.0	
Output Delay (Acceleration)	0.0	s
Valve Diagram:		
Valve Diagram: Table Id	1	
Valve Diagram: Interpolation type	'LINEAR'	
Valve Diagram: Output offset [-1.0 ... 1.0]	0.0	
Other Settings:		
Drive Mode	'STANDARD'	
Drift Compensation (DAC-Offset)	0.0	mm/s

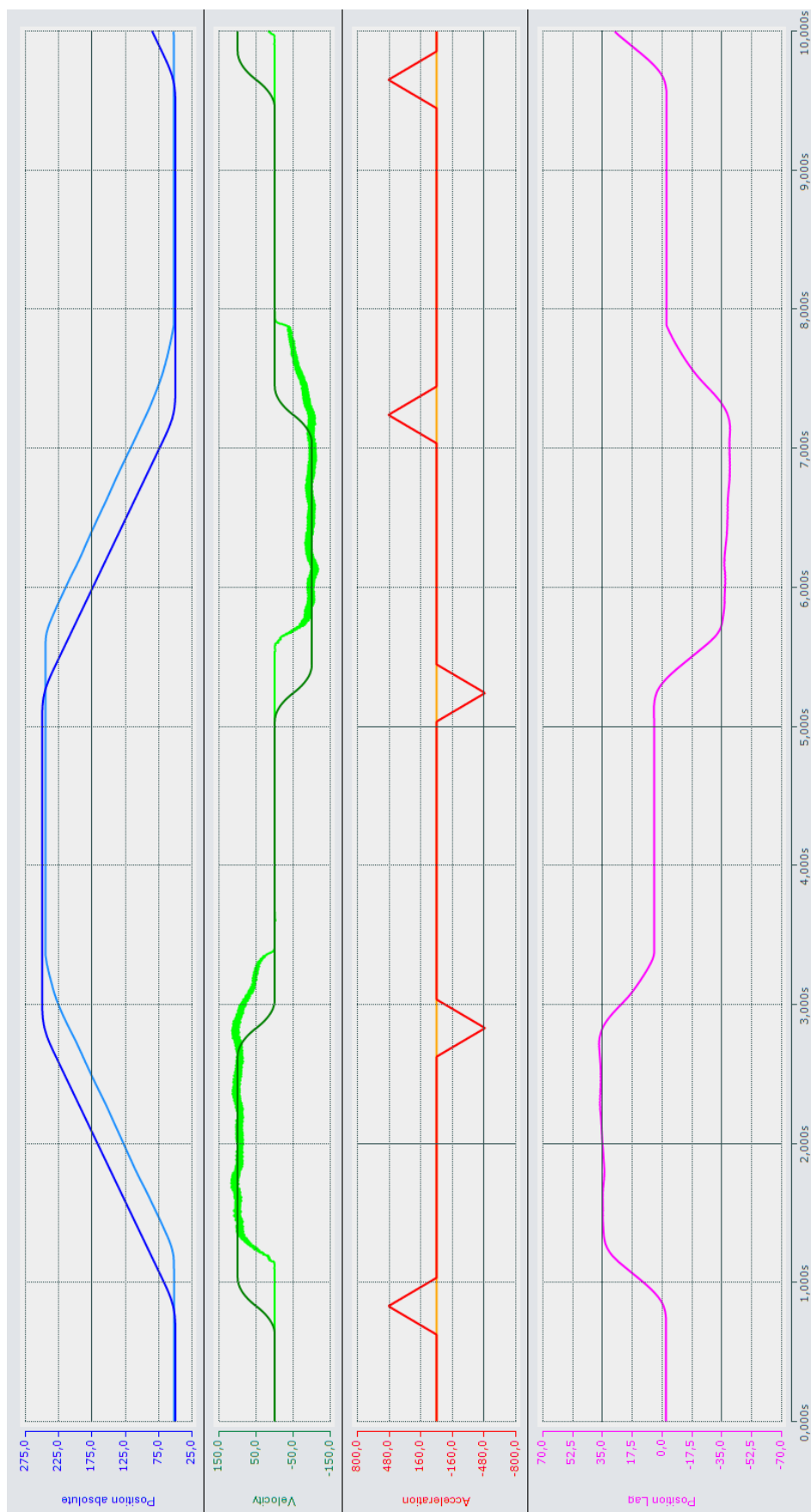
Příloha 3) Nastavené Drive parametry

Parametr	Hodnota	Jednotky
Monitoring:		
Position Lag Monitoring	FALSE	
Maximum Position Lag Value	5.0	mm
Maximum Position Lag Filter Time	3.0	s
Position Control Loop:		
Position control: Dead Band Position Deviation	5.0	mm
Position control: Proportional Factor Kv	1.0	mm/s/mm
Position control: Integral Action Time Tn	4.0	s
Position control: Derivative Action Time Tv	1.4	s
Position control: Damping Time Td	2.0	s
Position control: Min./max. limitation I-Part [0.0 ... 1.0]	1.0	
Position control: Min./max. limitation D-Part [0.0 ... 1.0]	1.0	
Disable I-Part during active positioning	FALSE	
Feedforward Acceleration: Proportional Factor Ka	0.0	s
Feedforward Velocity: Pre-Control Weighting [0.0 ... 1.0]	0.0	
Other Settings:		
Controller Mode	'STANDARD'	
Slave coupling control: Proportional Factor Kcp	0.0	mm/s/mm
Controller Outputlimit [0.0 ... 1.0]	1.0	

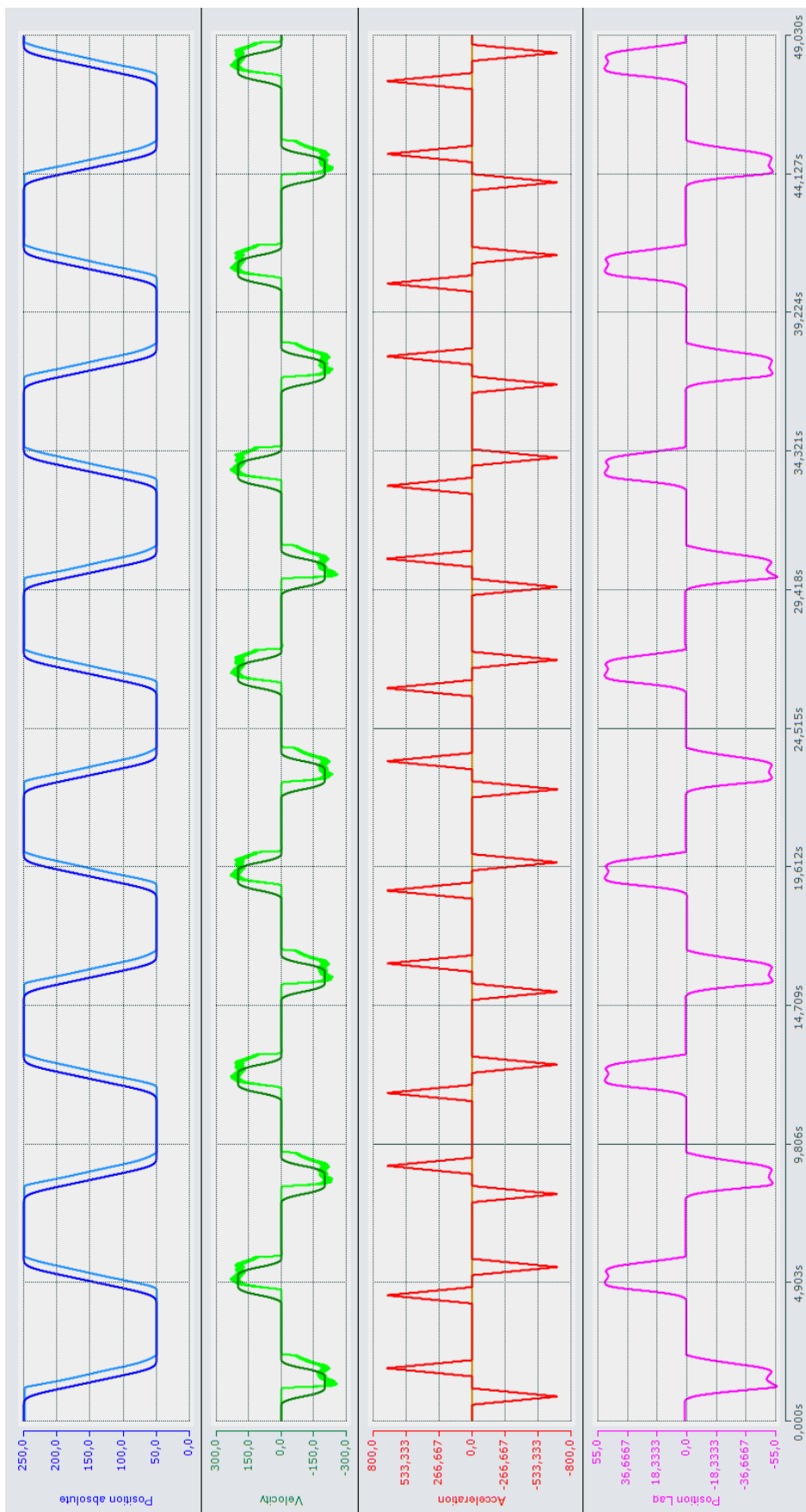
Příloha 4) Nastavené Ctrl parametry



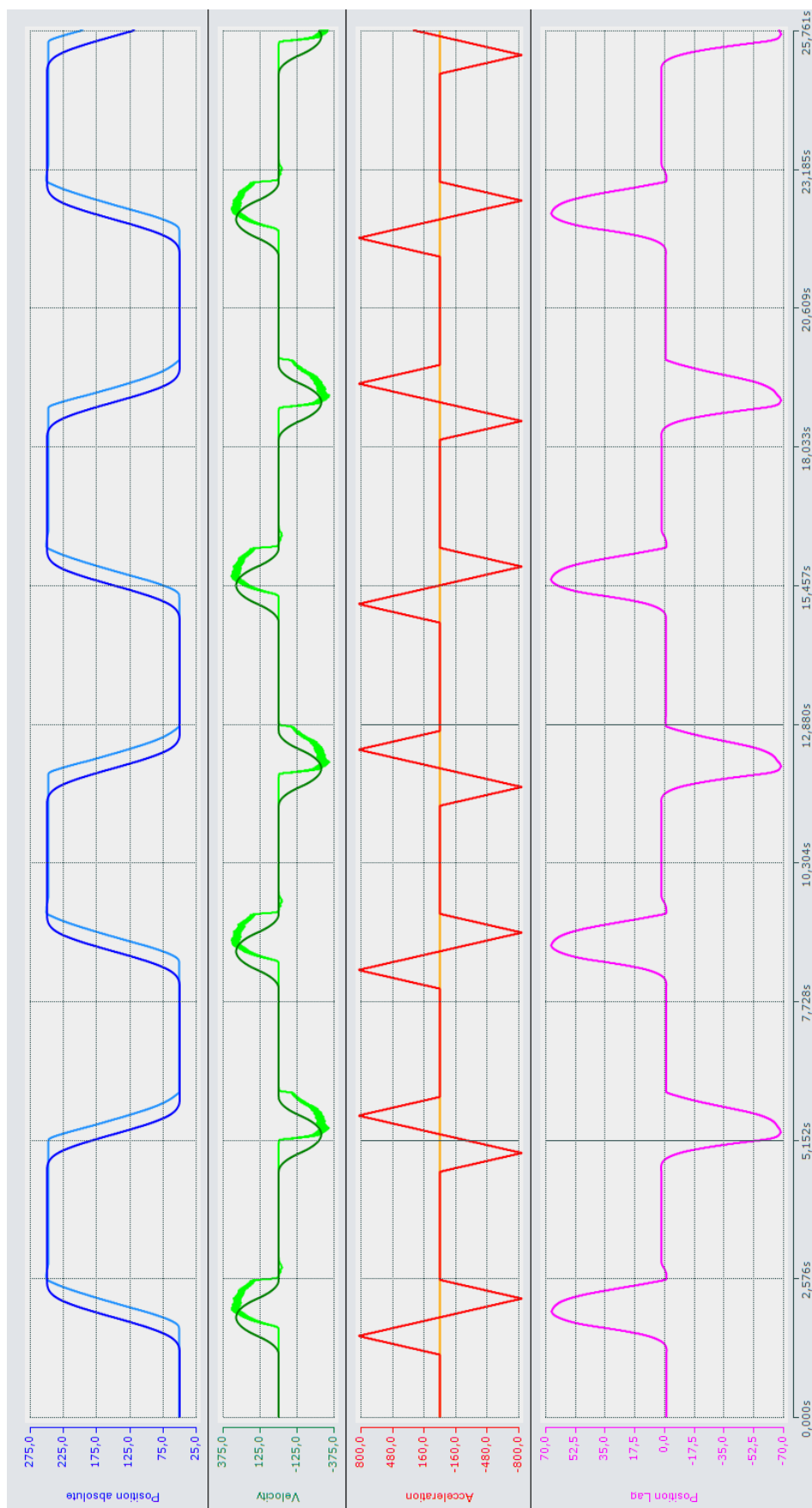
Příloha 5) Výsledky testování pro rychlost 50 mm/s



Příloha 6) Výsledky testování pro rychlost 100 mm/s



Příloha 7) Výsledky testování pro rychlost 200 mm/s



Příloha 8) Výsledky testování pro rychlost 300 mm/s

Terminál											
Port	BK1120	KL5101	Os a X	KL5101	Os a X	KL5101	Os a Y	KL5101	Os a Y2	KL9210	KL9187
1	+24V PS	Enc Input	N/A	Enc Input	N/A	0V Distribution	GND Prop. Valve #1	+24V Prop. Valve #1	N/A	Signal from Prop. Valve #1	KL3408
2	+24V PS	Enc Input	+24V PS	Enc Input	+24V PS	0V Distribution	GND Prop. Valve #1	N/A	N/A	Signal from Prop. Valve #1	KL4438
3	0V PS	N/A	0V PS	N/A	0V PS	N/A	GND Cylinder Valve X_Pos	+24V Z_Down	N/A	N/A	KL2408
4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0V Distribution	GND Cylinder Valve Y_Neg	N/A	N/A	N/A	KL1418
5	0V PS	N/A	N/A	N/A	N/A	0V Distribution	GND Prop. Valve #2	+24V Prop. Valve #2	N/A	Signal from Prop. Valve #2	END TERMINAL
6	+24V PS	N/A	N/A	N/A	Enc PS +	N/A	GND Terminal	N/A	N/A	N/A	
7	0V PS	N/A	N/A	N/A	Enc PS -		GND Cylinder Valve X_Neg	+24V Z_Up	N/A	N/A	
8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		GND Cylinder Valve Y_Pos	N/A	N/A	N/A	

Příloha 9) Propojení jednotlivých prvků s PLC sestavou